

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

ENQUADRAMENTO TARIFÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA EM
AGROINDÚSTRIA UTILIZANDO TEORIA FUZZY

LUIZ GONZAGA MANZINE

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas do Campus de
Botucatu - UNESP, para a obtenção do
título de Doutor em Agronomia, Área de
Concentração em Energia na
Agricultura

BOTUCATU - SP
Setembro - 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

ENQUADRAMENTO TARIFÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA EM
AGROINDÚSTRIA UTILIZANDO TEORIA FUZZY

LUIZ GONZAGA MANZINE

Orientador: Prof. Dr. Nelson Miguel Teixeira

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia - Área de
Concentração em Energia na Agricultura.**

BOTUCATU - SP
Setembro - 2004

À minha família, sobretudo meus pais Guarino e Amélia,
pela educação pautada pela honestidade e trabalho,
meu profundo reconhecimento e consideração!

À minha querida esposa
pela paciência, dedicação
e compreensão!

Ofereço!

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao Prof. Dr. Nelson Miguel Teixeira que, com sua competência e habilidade, unidas à sua receptividade, amizade e confiança, se fez presente em toda esta caminhada. Muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

A DEUS, forte rochedo sob o qual me abrigo, e à comunidade do Sagrado Coração de Jesus – Botucatu, SP, que me permitiu integrar fé e trabalho!

Também sou grato a tantas pessoas pela realização deste trabalho, que se fosse colocar uma a uma, com certeza encheria varias folhas como esta. Quero entretanto de forma particular nomear algumas pessoas e entidades, que de forma mais direta colaboraram para a realização deste trabalho.

- ◆ Colegas do DEX-CEUD-UFMS, pela convivência e apoio irrestrito em todos os sentidos;
- ◆ Prof. Dr. Luiz Francisco Cruz, cujo engajamento, nesta caminhada, palavra nenhuma é capaz de traduzir;
- ◆ Prof. Dr. Odival Faccenda, que com suas idéias, com sua amizade e exemplo profissional, sempre me deu muita força e ânimo;
- ◆ Prof. Dr. Carlos Roberto Padovani, pela clareza e profundidade de suas sugestões, e também pela acolhida sempre amigável, descontraída e respeitosa em seu lar, juntamente com sua esposa e filhos;
- ◆ Todo o pessoal da Biblioteca da FCA, na pessoa de sua Bibliotecária-chefa Maria Inês Andrade e Cruz, pela paciência, amizade e inestimáveis serviços prestados;
- ◆ Prof. Dr. Ivo Machado da Costa, sem o qual não sei como chegaria até aqui, como profissional e como gente;

- ◆ Silvio Sabatini Simonetti Scolastici, pelos muitos serviços prestados no Laboratório de Informática;
- ◆ Jair Siqueira, grande companheiro, pela disponibilidade nas horas complicadas, auxiliando no trabalho com os equipamentos que o Departamento disponibiliza aos seus alunos e pela grande amizade;
- ◆ Alan Sciamarelli, pela amizade, pela colaboração irrestrita em todos os momentos da vida, e pela caminhada de fé compartilhada;
- ◆ Prof. Dr. Luiz Gonzaga de Souza, pela amizade, apoio irrestrito quando da minha chegada a Botucatu;
- ◆ Pessoal da Secretária de Pós-Graduação, pela paciência, amizade e competência;
- ◆ Ao Hospital da Unesp/ Rubião Junior, pelo acompanhamento e assistência médica, oportunos e decisivos;
- ◆ Prof^a Dra Maura S. Tsutsui Esperancini do Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial da FCA- UNESP/Botucatu que, com muita paciência, competência e amizade, auxiliou nos cálculos econômicos;
- ◆ Prof. Dr. Moacyr Trindade de Oliveira Andrade, da Comissão de Serviços Públicos de Energia – CSPE, São Paulo, pela prontidão, disponibilidade e valiosas informações;
- ◆ Professores e funcionários do Curso de Energia na Agricultura UNESP-BOTUCATU, que sempre estiveram junto, mostrando caminhos, e abrindo horizontes, e tudo fazendo com prazer e alegria, em especial o professor Seraphim, que com sua calma e competência, sempre esteve presente nas horas mais incertas, com seu tradicional “não esquenta a cabeça”, pois sabia sempre o “caminho das pedras”;

- ♦ Colegas de curso que compartilharam toda a sorte de angústias e alegrias e que nunca faltaram com o incentivo e amizade tão necessários;
- ♦ Jair Moretto, pela acolhida em sua empresa, vontade de colaborar e a seriedade com que abraçou a causa da racionalização de energia. Extensivo a todos seus funcionários;
- ♦ Wesley Gallioti, pela competência com que realizou as medidas necessárias, e pela amizade;

Profissionais de entidades que me prestaram informações e suporte técnico imprescindíveis, além de oportunidade e apoio, em especial a:

- UFMS – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul;
- FCA/UNESP – Faculdade de Ciências Agrônômicas - Botucatu, SP
- UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul;
- CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz;
- Granja Moretto

“Minha alma engrandece o Senhor, e meu espírito exulta em Deus em meu Salvador, porque olhou para a humilhação de sua serva.

Sim! Doravante as gerações todas me chamarão bem-aventurada, pois o Todo-poderoso fez grandes coisas em meu favor.

Seu nome é Santo”

(Lc 1, 46-49)

SUMÁRIO

1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DA LITERATURA	8
4.1 Panorama Geral do Setor de Energia Elétrica	8
4.2 Lógica Fuzzy	17
4.2.1 Introdução	17
4.2.2 Valor Verdade de uma Proposição	19
4.2.3 Predicados	19
4.2.4 Quantificadores	19
4.2.5 Conjunto Fuzzy	20
4.2.6 Operações com Conjuntos Fuzzy	21
4.2.6.2 Conjunto Vazio.....	21
4.2.6.3 Conjunto Universo	21
4.2.6.4 União de Conjuntos	21
4.2.6.5 Intersecção de Conjuntos.....	21
4.2.6.6 Conjunto Complementar	22
4.2.7 Funções de Pertinência	22
4.2.8 Variáveis Linguísticas.....	26
4.2.9 Lógica Fuzzy – Aplicações.....	27
4.3 Fator de Carga	30
4.4 Índice de Utilização de Energia Elétrica.....	33
4.5 Melhor Opção de Estrutura Tarifária	35
4.5.1 Preço Médio da Energia Elétrica	35
4.5.1.1 Expressões Matemáticas do Preço Médio	36
4.5.2 Preço Médio Usando Dados Praticados por uma UC	37
4.5.3 O Gráfico Cartesiano em Função do Índice de Utilização e Fator de Carga do Horário de Ponta	37
4.6 Legislação Tarifária	39
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
5.1 Material	40
5.2 Métodos.....	42
5.2.1 Modelo Matemático Fuzzy para o Enquadramento Tarifário de UC de Energia Elétrica	43
5.2.1.1 Determinação dos Conjuntos Fuzzy	43
5.2.1.2 Índice de Identificação dos Conjuntos Fuzzy.....	46
5.2.1.3 Grau de Pertinência	46
5.2.1.4 Grau de Pertinência Complementar	47

5.2.1.5 Regras Fuzzy	47
5.2.1.6 Tabela Fuzzy	48
5.2.1.7 Conjuntos Fuzzy para a Variável Estrutura Tarifária E	49
5.2.1.8 Determinação da Tarifa por Meio da Tabela Fuzzy	50
5.2.1.9 Tarifa mais Conveniente	50
5.2.1.10 Índice de Identificação do Conjunto Fuzzy E	51
5.2.1.11 Grau de Pertinência de E	51
5.2.1.12 Grau de Pertinência Complementar de E	51
5.2.1.13 Discussão sobre a Tarifa mais Conveniente	51
5.2.2 Modelo Preço Médio	52
5.2.3 Procedimento Estatístico	52
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
6.1 Enquadramento Tarifário Utilizando Teoria Fuzzy	53
6.1.1 Estudo de Caso Simulando o Enquadramento Tarifário Utilizando-se as Metodologias Fuzzy e Preço Médio	55
6.2 Tabela Fuzzy	58
6.3 Análise dos Valores das Contas de Energia Elétrica, Referentes ao Período de Agosto de 2000 a Dezembro de 2003	63
6.4 Análise da Viabilidade de se Instalar Controlador de Demanda	64
6.4.1 Análise das Demandas de Potências da UC	64
6.4.2 Estudo Estatístico e Econômico da Viabilidade de Instalação do Controlador de Demanda	66
6.4.2.1 Estudo Estatístico	66
6.4.2.2 Estudo Econômico	68
6.5 Análise da Viabilidade da Instalação de um Grupo Motor Gerador	70
6.5.1 Características Técnicas e Dados Gerais do GMG	70
6.5.2 Fluxo de Caixa	71
6.5.3 Custo Anual Equivalente-CAE	72
6.5.3.1 Valor Presente Líquido Para o Custo - VPL_c	72
6.5.3.2 Custo Anual Equivalente - CAE	72
6.5.4 Receita Anual Equivalente – RAE	72
6.5.4.1 Valor Presente Líquido para Receita - VPL_r	72
6.5.4.2 Receita Anual Equivalente-RAE	72
6.5.5 Valor Anual Equivalente-VAE	72
7 CONCLUSÕES	74
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
APÊNDICE	87
APÊNDICE 1	88
APÊNDICE 2	90
APÊNDICE 3	92

APÊNDICE 4 95

APÊNDICE 5 96

APÊNDICE 6 98

LISTA DE ABREVIATURAS

- C : Consumo de energia elétrica (kWh)
- CF : Faturamento do consumo (R\$)
- CFP : Consumo do horário fora de ponta (kWh)
- CP : Consumo do horário de ponta (kWh)
- CT : Consumo total (kWh)
- D : Demanda de energia elétrica (kW)
- DFP : Demanda fora do horário de ponta (kW)
- DP : Demanda do horário de ponta (kW)
- ETC : Estrutura tarifária convencional
- MTHSA : Modalidade tarifária horo-sazonal azul
- MTHSV : Modalidade tarifária horo-sazonal verde
- FC : Fator de carga
- FD : Faturamento da demanda (R\$)
- F : Fator de carga do horário de ponta
- H : Fator de carga do horário fora de ponta
- GMG : Grupo motor gerador
- IM : Importe relativo ao fornecimento de energia elétrica (R\$)
- I : Índice de utilização de energia elétrica
- P_m : Preço médio da tarifa de energia elétrica (R\$/kWh)
- TC : Tarifa de consumo (R\$/kWh)

TD : Tarifa de demanda (R\$/kW)

TDP : Tarifa de demanda do horário de ponta (R\$/kW)

TDFP : Tarifa de demanda do horário fora de ponta (R\$/kW)

TCP : Tarifa de consumo do horário de ponta (R\$/kWh)

TCFP : Tarifa de consumo do horário fora de ponta (R\$/kWh)

UC : Unidade consumidora

VU : Valor de ultrapassagem da demanda contratada (kW)

VAE : Valor anual equivalente (R\$)

TJLP : Taxa de juros de longo prazo

CAE : Custo anual equivalente

1 RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo utilizar a Teoria Fuzzy para obtenção de uma metodologia alternativa na escolha da estrutura tarifária de energia elétrica mais conveniente para a agroindústria e, em consequência, colaborar, reduzindo também os custos da oferta de energia elétrica para o país. A metodologia citada utiliza como variáveis principais o índice de utilização de energia elétrica e o fator de carga do horário de ponta. Estes dois parâmetros elétricos, juntamente com o fator de carga do horário fora de ponta, fornecem o enquadramento tarifário que mais se ajusta a uma determinada UC.

Uma aplicação da metodologia estudada é apresentada num estudo de caso, envolvendo resultados obtidos com a migração tarifária de uma UC e ainda uma abordagem comparando os preços médios da energia elétrica para um consumidor em pleno funcionamento e para um projeto de planta elétrica.

O Modelo Fuzzy alternativo construído teve desempenho comparável ao modelo, usando as fórmulas de preço médio de energia elétrica para o enquadramento tarifário de uma UC, fato confirmado no estudo de caso levado a efeito neste trabalho.

Relativamente ao estudo de caso, chegou-se à conclusão afirmativa para a migração tarifária da ETC para a MTHSV, com diminuição no valor da demanda contratada. As análises feitas com o GMG, instalado na UC, mostraram ganho financeiro ao se gerar energia elétrica na atual estrutura e organização da linha de produção da UC, sendo

desaconselhável sob o ponto de vista financeiro, se o GMG tiver de ser adquirido. Quanto ao controle das demandas de potências solicitadas, estudos mostraram que é necessário, não sendo, porém viável levando-se em conta o aspecto estritamente financeiro com um controlador de demanda nos moldes propostos por uma empresa especializada, consultada com esta finalidade.

ELECTRIC TARIFF ADJUSTMENT IN AGROINDUSTRY USING FUZZY THEORY.
Botucatu, 2004, 102p.

Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências
Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LUIZ GONZAGA MANZINE

Adviser: NELSON MIGUEL TEIXEIRA

2 SUMMARY

The present work aims to use Fuzzy Theory to obtain an alternative methodology in choosing the most convenient tariff structure of electric energy for agroindustry and as consequence to cooperate for its rational use and also reduce the costs in offering electric energy for the country. The methodology uses as main variables the index of electric energy usage and the load factor at peak hours. These two electric parameters along with the load factor out of peak hours make up the tariff adjustment which best applies to a determined consuming unit.

One usage of the studied methodology is shown in a case study involving obtained results from tariff migration of one consuming unit. It is also presented an approach comparing average tariff of electric energy for consumers at full work as well as for an electric plant project.

The built alternative Fuzzy Model had a performance comparable to the main model using formulas of electric energy average tariff for tariff adjustment of one consuming unit. Such procedure was confirmed in the case study carried out in this work.

Concerning the case study there was a positive conclusion for tariff migration of CCT to GSTTM with a decrease on the value of the contracted demand. Analysis carried out with GMG, which was installed at consuming unit, showed a financial profit when generating electric energy on the current structure and organization of production line at consuming unit thus being unadvisable under financial aspects if GMC is to be purchased. Researches show that it is necessary the control of required energy demand. However it is not

viable considering only the financial aspects with a demand controller under the proposed models for a specialized company which was consulted for such aim

Keywords: Fuzzy Theory, season custom tariff, rationalization electric energy.

3 INTRODUÇÃO

Está cada vez mais evidente neste início de século e na forma de organização de vida que o caracteriza, nos países desenvolvidos e nas regiões em desenvolvimento, a importância da energia elétrica, tanto no lado da demanda como no lado da oferta, no presente e no futuro previsível.

Hoje o seu consumo é um dos parâmetros internacionais usados para se saber se um país é desenvolvido, está em desenvolvimento ou é subdesenvolvido. Nesse sentido, os países desenvolvidos consomem mais da metade da energia do mundo e seus 900 milhões de habitantes consomem oito vezes mais energia que o restante da população mundial.

Prevalecendo a atual estrutura econômica internacional, o que é provável, estudos mostram que a metade da população mundial não deverá atingir nem mesmo um nível mínimo de condição material de vida e de consumo de energia, no horizonte de tempo esperável, conforme Leite (1997). Para o mesmo autor, alguns países em desenvolvimento, entre os quais, possivelmente o Brasil, conseguirão romper o teto da pobreza e passarão a ser maiores consumidores de energia, mas nem se pensa na hipótese de que atinjam o padrão dos países com economia de mercado solidificada. Segundo cálculos, se isso acontecer, a demanda de energia será incompatível com os recursos energéticos globais da terra, pelo menos no atual estágio tecnológico.

Para atender à crescente necessidade de energia elétrica que movimenta o planeta Terra, dentro de uma concepção de universalizar o seu consumo, sem poluir o meio ambiente, preservar o ecossistema e, ao mesmo tempo, manter o atual nível de conforto conquistado pelo desenvolvimento científico e tecnológico, não se pode esquecer de dois princípios básicos: a expansão do atual parque gerador, com suas múltiplas fontes de geração, e eficiência energética, incluindo nesta, o uso racional da energia.

O uso da tarifação e legislação pertinente se caracterizaram como de suma importância desde o final da década de 80 com a criação da tarifa horo-sazonal nas modalidades Azul e Verde, conforme Portaria 033 do Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica – DNAEE, colaborando efetivamente com a racionalização de energia elétrica para consumidores ligados em alta tensão.

Para Carvalho (1987), todo o processo de modernização de tarifas, bem como os esforços na busca de alternativas da modificação da matriz de energia no Brasil nos últimos 25 anos, foi motivado pelos dois choques do petróleo; o primeiro ocorrendo em fins de 1973, marcando o final da era do petróleo abundante e barato, que alimentou o crescimento econômico nas décadas de 50 e 60, e o segundo no ano de 1979. Mais recentemente, nos anos 2003 e 2004, a ameaça no corte da produção e também as oscilações violentas nos preços, reforçaram em todo o mundo a idéia da intensificação do desenvolvimento de tecnologias que não dependam do petróleo importado. Assim, continua presente a importância do assunto tarifa.

Para Bitu e Born (1993), o tema tarifas assume cada vez mais uma posição de destaque pois, entre outras coisas, sinaliza ao consumidor a direção do uso racional e da conservação da energia elétrica .

As mudanças profundas ocorridas na matriz energética brasileira nas ultimas três décadas têm com destaque o aumento vertiginoso do consumo da energia elétrica.

Conforme Faccenda (1997), a situação entretanto é preocupante, pois a expansão do atual parque gerador apresenta dificuldades de várias naturezas: institucional, financeira, social, ambiental, de recursos naturais, de perdas nas linhas de transmissão, de armazenamento de resíduo dos reatores nucleares e outras. Assim, a expansão do parque gerador no momento atual é crítica, pois apesar do imenso esforço tecnológico, realizado nas

últimas décadas, não se dominaram novas tecnologias de geração de energia elétrica segura, barata e sem prejuízo para a humanidade.

É preciso ressaltar também o desenvolvimento das tecnologias de medição e manipulação de dados no auxílio de estudos mais precisos e abrangentes a pesquisadores, a governos, empresários, e consumidores em geral, principalmente na tomada de decisões envolvendo o uso de energia elétrica. Destaca-se ainda o espaço existente para a melhoria na modulação da curva de carga, principalmente no horário de ponta, com o uso do incentivo tarifário. É preciso destacar que a análise tarifária ainda é importante e muito praticada nos dias de hoje.

Objetiva-se, neste trabalho, usar a Teoria Fuzzy como metodologia alternativa para se obter o enquadramento tarifário de uma UC do subgrupo A4, auxiliando a tomada de decisão no sentido de se diminuir o valor da fatura mensal de energia elétrica, usufruindo-se da legislação tarifária e também colaborar na racionalização do uso da energia elétrica. Pretende-se, ainda com um estudo de caso, analisar a migração tarifária usando-se a metodologia proposta e a metodologia do preço médio, bem como a viabilidade de instalação de um controlador de demanda e de um GMG.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Panorama Geral do Setor de Energia Elétrica no Brasil

A indústria de energia elétrica vem passando por profundas reformas e inovações em vários países do mundo.

O Brasil também passa por estas transformações, embora tenha mais dificuldades que alguns países de economia e urbanização consolidadas, pois paralelamente às reformas e financiamento do setor elétrico ainda investe maciçamente em educação, saúde, serviços de infra-estrutura, construção de rodovias, ferrovias e outros meios de transportes, prédios públicos e administrativos e outras necessidades de um país emergente. Tais investimentos, embora extremamente necessários, muitas vezes inviabilizaram os recursos financeiros necessários ao setor elétrico que começa, então, no início da década de 90, sua reestruturação e transformação mais profundas.

Conforme Brasil (1992), altera-se o fator de potência de 0,85 para 0,92. Em Brasil (1993), é estabelecida a desqualificação tarifária, quando o preço da tarifa que era o mesmo em todo o país, passa a considerar diferenças entre concessionárias.

Andrade (1993), fazendo a análise da legislação que alterou o fator de potência de 0,85 para 0,92, conclui que o montante de energia evitado pela redução das perdas na linha ou alimentador que suprem uma unidade industrial, será de cerca de 50×10^2 GWh/ano, enquanto que a demanda média preservada será de cerca de 1000 MW. Afirma que no Brasil existe, na maioria das plantas industriais, um grande potencial para se economizar

energia elétrica, e que o incentivo no uso da nova legislação sobre o fator de potência das cargas, pelas UC, deverá ser explorado pelos órgãos competentes, tendo em vista que juntamente com outras alternativas, tal legislação será decisiva para a conservação e racionalização de energia elétrica.

O problema das perdas ainda continua. Jabur (1998) constata que o índice de perdas no Brasil continua elevado. Em algumas concessionárias, chega a 25% do total da energia disponível. Este valor é muito alto, mesmo quando comparado com a média nacional que em 1997 foi de 11,2%, sendo o mesmo índice altíssimo, quando comparado com os países europeus e Estados Unidos, onde o índice de perdas é em torno de 5%. Somando-se as perdas das concessionárias em 1998, segundo a mesma autora, tem-se um total de 18421 GWh, volume este capaz de abastecer um mercado com cerca de 3 milhões de consumidores.

Contudo o sistema elétrico brasileiro, cuja regulamentação tem início no ano de 1934, com a promulgação do Código das Águas, conforme Ganim (2003), experimenta, em especial a partir de 1995-96, reformas profundas e em decorrência, novas regulamentações.

Conforme Brasil (1996), é criada a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, e é extinto o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE. A ANEEL tem como função implementar as disposições estabelecidas nos contratos de concessão e estabelecer mecanismos de alteração das tarifas previstos nos contratos (cláusula econômica); reajuste tarifário anual; revisão periódica extraordinária e revisão tarifária periódica.

Com o Plano Nacional de Desestatização – PND já tendo atingido vários setores, até então controlados pelo governo federal, um dos parâmetros principais da reforma do setor elétrico nacional foi a desestatização/privatização. Em linhas gerais, os objetivos principais foram: passar à iniciativa privada a responsabilidade pelos investimentos necessários e paralelamente aperfeiçoar os mecanismos de regulação do mercado que garante um funcionamento eficiente do setor.

Entretanto, estes objetivos estão longe de serem atingidos, haja vista entre outros fatos, o desabastecimento ocorrido em 2001-2002, com reflexos ainda hoje, desabastecimento este previsto alguns anos antes por vários estudos embasados em dados oficiais.

Faccenda e Souza (1997), em análise feita no período de 1975-1993, concluem que o consumo de energia elétrica no Brasil aumentou, em termos reais, 25,3% a mais que o aumento da capacidade instalada de geração neste mesmo período, o que representou em média, nos últimos 18 anos, uma defasagem anual de 1,3% no aumento do consumo em relação à capacidade instalada. Concluem que para os anos de 2002, 2005 e 2010 no mês de agosto, mês de maior consumo no estado de São Paulo, o déficit de energia elétrica deverá estar respectivamente em torno de 4319428,95 MWh, 5032741,73 MWh e 6138863,02 MWh, atingindo 100% da energia gerada a base de recursos hídricos no Estado, no ano de 2005.

Em Consumo (1999), constata-se que graças às crises financeiras internacionais (soviética e asiática) com forte retração no setor industrial, o segmento de abastecimento de energia elétrica se manteve inalterado. Se mantido o ritmo de crescimento dos primeiros anos do Plano Real, com certeza ocorreria em 1999 um racionamento de consequências desastrosas. Contudo, a crise no setor de abastecimento de energia elétrica está longe de ser resolvida, tendo ocorrido apenas seu por um ou dois anos.

Previsões publicadas em Risco (1999) mostram que para não ocorrerem “blecautes” principalmente no horário de ponta no ano 2000, seria preciso chover 20% a 25% acima da média dos últimos 60 anos (MLT-Média de longo tempo). A mesma publicação enfatiza que no ano 2000 o custo marginal do sistema seria o mais alto, refletindo a dificuldade do setor elétrico em atender à demanda prevista.

Na área rural, também, a situação não mudou muito.

Conforme Ribeiro et al. (1998), durante muito tempo não houve onde discutir eletrificação rural no âmbito federal. Uma omissão de longa data. Nos anos entre 1980 e 1997, o Brasil atendeu a menos de 2% das necessidades de sua área rural, entrando em 1998 com dois terços de suas propriedades sem energia elétrica. Essas propriedades, em sua maioria localizadas em comunidades isoladas, formam um enorme contingente de pessoas que não têm energia elétrica necessária à satisfação de suas necessidades de sobrevivência (alimentação, educação e saúde). As possibilidades de agregar o valor da energia ao produto para elevar a renda e gerar empregos no meio rural são mínimas. Resolver tal problema é uma questão de opção estratégica de combate à pobreza e promoção da inclusão social no país.

Gouvello (1995) critica o modelo como foi constituído o setor elétrico brasileiro, pois apesar do significativo suporte financeiro durante mais de 20 anos, mal permitiu ligar uma minoria à rede. Mostra ainda as diferenças gritantes no consumo de energia elétrica nas várias regiões rurais do Brasil e a urgente necessidade da integração regional.

Ribeiro (1997) critica a questão da eletrificação rural considerada apenas em seu aspecto econômico, em cujo contexto seria um gatilho detonador de uma explosão de desenvolvimento rural. Conclui que a eletrificação rural é uma condição necessária, mas não suficiente para o desenvolvimento rural, pois este é o resultado de diversos processos, um dos quais é o desenvolvimento agrícola. A política de eletrificação rural é apenas um dos aspectos de uma política mais ampla de energização desse meio.

Segundo Andrade (1993), o PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, tem características panfletórias, pois recomenda medidas e não prevê ações mais efetivas e normatizadoras na busca da conservação da energia elétrica. Desta forma, as metas de conservação de energia elétrica, constantes nos planos 2010 e 2015, dependerão muito mais da manutenção da crise econômica e dos esforços isolados do que de uma efetiva programação do PROCEL.

Para Goldemberg (2000), apesar dos investimentos de US\$235 milhões feitos no período de 1986-97, resultando numa economia de 5,6 TWh, que corresponderam a investimentos evitados de R\$2,56 bilhões, as metas para 2010 poderiam resultar numa economia de 50 TWh ao ano, para um consumo previsto de 590TWh.

Klötzle e Biagini (2002) concluem entre outras coisas que, de 1999 para 2000, as tarifas médias de energia elétrica tiveram alta nos preços maior do que a inflação no mesmo período; a privatização em vez de priorizar o lado produtivo, procurando alianças para novas obras de geração, atuou sobre as empresas já estruturadas de distribuição e com financiamentos oficiais; não existe ainda uma regulamentação que prevê a integração do setor de energia como um todo, que englobe não somente a eletricidade, mas também óleo, gás e petróleo.

Conforme Um choque (1999) “numa economia em que tudo está sendo negociado livremente e em que as empresas relutam em elevar seus preços, já que o consumo está baixo e a competição difícil, as companhias energéticas conseguiram formar um cartel que dita preços”, fazendo uma alusão ao fato de que as concessionárias privadas de energia

elétrica, que assumiram o controle das antigas estatais, têm por contrato o reajuste anual das tarifas conforme a variação do IGPM.

Com a desverticalização do setor elétrico, a energia elétrica passa a ser uma mercadoria qualquer, produzida, transportada, distribuída e comercializada, segundo Benjamim (2004). Este autor enfatiza que não existiu rigorosamente nenhum motivo técnico ou econômico para a privatização do setor elétrico brasileiro, um dos maiores, mais complexos e mais bem sucedidos do mundo. O que existiu foi o interesse de inserir no setor de energia elétrica o grande capital nacional e o capital internacional.

A inserção aludida privatizou praticamente toda as empresas de distribuição, mas não fez o mesmo com a geração, e isto criou um impasse, pois existe quem investe na distribuição, mas não na geração, pelo menos com o montante que deveria acontecer.

Há que se ressaltar, entretanto, que o setor elétrico brasileiro tem evoluído no sentido de atender qualitativa e quantitativamente um número cada vez maior de pessoas, e iniciativas para resolver os problemas elencados e outros têm se sucedido ao longo do tempo.

Destaca-se o programa de eficiência energética levado a efeito pelo Procel/Eletrobras. Conforme Lopes e Lisboa (2001) descrevem no XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE, o projeto denominado de Projeto de Eficiência Energética – PEE, é financiado pelo BIRD e recursos a fundo perdido do “Global Environment Facility” – GEF. Deverá ter duração de 4 anos, e estima-se que será obtida uma economia anual de energia da ordem de 1% do consumo do país. Isto significará a postergação em obras no valor de 300 milhões de dólares anuais e se evitará a emissão de um montante de 17 milhões de toneladas de CO₂.

No âmbito legislativo, algumas medidas de impacto são tomadas. Publica-se primeiramente Lei conforme Brasil (2002a), que entre outras medidas, estabelece a universalização do serviço público de energia elétrica, por meio da Presidência da República. Posteriormente é publicada Resolução segundo Brasil (2003a), cujo objetivo é também tratar da universalização do mesmo serviço, porém por meio da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. O terceiro ato legislativo assinado conforme Brasil (2004a), estabelece o novo modelo do setor elétrico brasileiro. É um novo marco na legislação do setor que

estabelece entre outras coisas, nova regulamentação da comercialização de energia elétrica no Brasil.

O estabelecimento da universalização do serviço público de energia elétrica como citado no parágrafo anterior, prevê que até 2008, as propriedades rurais estarão todas atendidas. O ambiente para que tal aconteça, ao contrário de outros projetos anteriores de eletrificação rural, é favorável, pois houve mudança de paradigma, relativamente aos serviços de energização rural, cujos custos para eletrificar uma propriedade recaíam totalmente sobre quem solicitasse o serviço, enquanto hoje, a concessionária à qual pertence o solicitante, deve arcar com as despesas.

Conforme Pazzini (2001), iniciativas como os dois atos legislativos que regularizaram a universalização do serviço público de energia elétrica, foram objetos de pesquisadores e engenheiros que trabalharam e trabalham com eletrificação rural, e é sem dúvida, um marco fundamental para iluminar todas as propriedades do campo brasileiro, proporcionando dignidade e uma melhor qualidade de vida a milhões de cidadãos.

Entretanto, para que se tenha a universalização com energia em quantidade e qualidade suficiente, e para manter o atual nível de conforto conquistado pelo desenvolvimento científico e tecnológico, o setor elétrico deve estar atento ao seu parque gerador, e dentro de uma concepção de não poluir o meio ambiente, preservar o ecossistema, expandir o atual parque gerador, com suas múltiplas fontes de geração, e o uso racional da energia, conforme Faccenda (1997).

Para Comitê (1995), o único sistema de tarifação utilizado até então, denominado convencional, não permitia ao consumidor perceber os reflexos decorrentes da forma de usar a eletricidade, já que não havia diferenciação de preços segundo sua utilização durante as horas do dia e períodos do ano. Era indiferente para o consumidor utilizar a energia elétrica durante a madrugada ou no final da tarde, assim como, consumir durante o mês de junho ou dezembro. Com isso, o perfil do comportamento do consumo reflete unicamente os hábitos de consumo e as características próprias do mercado de uma determinada região.

Uma das maneiras encontradas para começar a modificar a situação descrita anteriormente foi estruturar o sistema tarifário de energia elétrica no Brasil, começando sua modernização no ano de 1981. Além da tarifa convencional, passa a existir a

Tarifa Horo-Sazonal, que tem preços diferenciados para determinados períodos do dia e do ano.

Contudo, para Dória e Andrade (1998), a implementação do sistema horo-sazonal com preços diferenciados de demanda e consumo influenciou decisivamente no comportamento das cargas dos médios e grandes consumidores, visto que tal sistema tarifário beneficia estes consumidores. Os mesmos autores defendem a idéia de que a implementação das tarifas horo-sazonais azul e verde praticamente já atingiu o máximo, pois já são utilizadas desde 1983, e a alternativa agora é a implantação da tarifa amarela para pequenos consumidores industriais e residenciais, sendo o potencial previsto de alívio na curva de carga no horário de ponta, bastante significativo.

Oliveira Filho, Tanabe e Costa (2000) defendem um sistema de tarifas mais amplo e diferenciado do que o atual, incentivando o uso de tecnologias existentes principalmente para substituição de chuveiro elétrico, responsável por uma parcela considerável do consumo de energia elétrica no horário de ponta e de uma energia nobre.

Para Seraphim e Teixeira (1997), a produção de energia mecânica absorve grande parte da eletricidade consumida na agroindústria. Este, portanto, é um dos pontos prioritários sobre o qual é necessário economizar. O êxito nesta tarefa depende de uma melhor adaptação da potência do motor àquela da máquina que o utiliza. Isto pode ser conseguido, muitas vezes, a partir da adoção de medidas simples e de fácil implantação, como por exemplo, o desligamento dos motores quando não efetivamente utilizados, e operar em horários fora de ponta, quando o custo da energia elétrica é menor.

Jannuzzi (1995), fazendo análise considerando cenário de eficiência tecnológica e energética, afirma que é possível se demonstrar que a operação de uma fábrica de lâmpadas fluorescentes compactas é capaz de gerar o mesmo número de empregos fixos diretos por MWh/ano de energia conservada que uma usina termoeletrica, com um investimento inicial trinta e duas vezes menor. O exercício realizado para o estado de São Paulo demonstra ser possível evitar uma considerável capacidade instalada sem prejuízo da atividade econômica e a custos competitivos com aqueles necessários para novas usinas.

Já foi dito que até 2008, a área rural estará com energia elétrica em sua totalidade. Contudo sérios problemas merecem atenção e solução.

Um dos problemas mais sérios é a falta de formação e informação de como consumir energia elétrica de maneira mais correta e se existem possibilidades de exploração de outras fontes de energia mais apropriadas para determinados processos produtivos no setor rural. Campani (1996) fala do profissional formado para fazer estes estudos e de sua importância.

Godinho (1987), estudando o uso de energia elétrica em atividades de irrigação, atividade laticinista e de processamento de cereais, concluiu que aquelas que exercem algum controle sobre parâmetros elétricos, objetivando racionalizar o uso da energia elétrica, conseguiram uma condição na qual as parcelas de contribuição tarifária da demanda e do consumo tendem a uma igualdade, e as que não exercem controle algum, a parcela referente ao custo mensal da demanda de energia elétrica supera a contribuição do consumo. Estudando a função $t = f(\alpha, \text{fator de carga})$, onde α é a razão entre a tarifa de demanda e a tarifa de consumo, para as atividades citadas, e em decorrência da legislação da época, determinou um fator de carga mínimo para o atendimento da igualdade de participações da demanda e do consumo na conta mensal de energia elétrica como sendo igual a 0,38. Verificou, ainda, que os ajustamentos das funções fator de carga = $f(c)$, onde c é o consumo em kWh, foram mais significativos para as atividades cujo desvio da demanda variou de 10 a 15% pois, quando a demanda se mantém relativamente constante, a influência do consumo passa a ser mais acentuada sobre o fator de carga.

Porto (1991), num estudo de caso, concluiu que os preços médios das tarifas azul e verde dependem da relação consumo na ponta sobre consumo total (CP/CT), pois se verifica que, quanto maior for o consumo no horário de ponta, maior será o preço do kWh consumido. Também, para a mesma relação, o preço médio do kWh consumido é inversamente proporcional ao fator de carga geral. Para os custos unitários considerados, observou-se que, para o fator de carga geral, existe um ponto de equilíbrio, no qual as tarifas verde e azul apresentam os mesmos preços médios, independentes da relação (CP/CT). Quanto à variação do importe, constatou que: quando não há consumo na ponta, a redução no custo é idêntica para as tarifas azul e verde, e para ambas as tarifas, quanto maior a relação entre demanda de ponta e demanda fora de ponta, menor será a redução no importe na conta de energia elétrica.

Arruda et al. (1998) afirmam que a instalação de gerenciador de carga em consumidores residenciais de baixa renda, em municípios do Vale do Jequitinhonha no estado de Minas Gerais, permitiu uma redução de cerca de 20% do consumo de energia elétrica. Esta otimização com uso de controlador não trouxe perda de conforto e qualidade de vida; o que houve foi uma pequena alteração de hábito de consumo, fundamentalmente com relação ao uso de chuveiro elétrico. Este estudo se torna importante neste momento de privatização/desregulamentação do setor elétrico, que prevê que os novos operadores do sistema não terão a visão do atendimento "social" para a população de baixa renda.

Mendonça et al. (1995), estudando as fontes de energia utilizadas em irrigação, verificaram que as mais recomendadas economicamente foram o óleo diesel e a energia elétrica. No caso da energia elétrica, percebeu-se a grande importância da demanda no seu custo total e, no caso do óleo diesel, foram feitas recomendações a respeito do melhor ponto de funcionamento dos motores, com relação ao consumo do combustível. Os autores também afirmam que um bom manejo do sistema pode diminuir a influência da demanda no custo da energia, por meio do controle do horário de funcionamento e do número de equipamentos utilizados conjuntamente.

Para Thomas e Klöchner (1998), revisando-se a conta de energia elétrica, entre outras coisas, pode-se verificar: - Os picos mensais são muitos dispersos? A conta mostra a demanda mais elevada de cada mês. Se esses valores são muito dispersos, isto pode ser indicativo de um consumo de energia elétrica irregular e altamente ineficiente. O período de utilização é muito reduzido? Este período é o quociente entre a energia elétrica consumida no período de medição e a demanda registrada (média dos dois maiores picos mensais). Um consumo constante durante um ano de tarifação resultaria em um período de utilização de 8760 horas.

Apesar das inseguranças e incertezas provocadas pelos vários motivos já elencados, o esforço no sentido de se reverter o atual quadro é muito grande, principalmente de pesquisadores, buscando incansavelmente alternativas utilizando os meios mais modernos e diversos possíveis, de instrumentação teórica e prática para tornar o setor energético nacional seguro, equilibrado e justo.

Gabriel (1994), utilizando-se de conceitos de geometria diferencial, juntamente com o fator de potência e fator de carga, criou hiperbolóides de carga e

hiperbolóides modular de potência, que geraram superfícies por meio das quais analisou com sucesso o consumo de energia elétrica em empresas de beneficiamento de arroz situadas nas regiões oeste e norte do estado de São Paulo. Concluiu ainda que o emprego dos hiperbolóides citados anteriormente podem ser utilizados em qualquer empresa, bastando que se tenham os registros de fator de potência e fator de carga.

Teixeira (1999), usando o conceito de hiperbolóide de carga, verificou que em todos os Departamentos da FCA, UNESP-Botucatu SP, a média do fator de potência foi de 0,81, abaixo de 0,92 exigido pela legislação e que se a correção fosse feita, haveria uma redução de 41% no valor da corrente reativa, e a redução das perdas nas resistências inerentes ao sistema seria de aproximadamente 65%. Observa ainda, que existem dificuldades em se controlar a racionalização de energia na entidade em estudo pois, nela, a utilização de energia é bastante diversa e diferente para as horas do dia, devido, entre outros fatores, a realização de experimentos que solicitam utilização intermitente e sazonal da energia elétrica.

4.2 Lógica Fuzzy

4.2.1 Introdução

Ocupa lugar de destaque hoje no cenário de alta tecnologia e controle, a Lógica Fuzzy, elaborada a partir dos Conjuntos Fuzzy, sendo estes idealizados por Lotfi Asker Zadeh na década de 60, conforme Zadeh (1965).

Para Ortega (2001), o desejo de resolver problemas cada vez mais complexos tem promovido o desenvolvimento dos computadores, e exigido a construção e criação de equipamentos cada vez mais eficientes e robustos, impulsionando sobremaneira o desenvolvimento de tecnologias com suportes técnico e teórico em Inteligência Artificial. Uma das características marcantes deste desenvolvimento para a autora, esse pesquis é a criação dos Algoritmos Genéticos, que são capazes de imitar parte do raciocínio humano, por meio da incorporação da habilidade para lidar com situações imprecisas e incertas, devido aos avanços da Lógica Fuzzy. Neste sentido, não há dúvida de que a máquina e o raciocínio humano nunca estiveram tão próximos quanto no momento atual.

A Lógica Fuzzy é um instrumental lógico-matemático, apresentado por Zadeh em 1964, mas cuja publicação aconteceu somente em 1965, conforme Zadeh (1965). Na época, esse pesquisador trabalhava com Inteligência Artificial e com problemas de classificações de conjuntos que não possuíam fronteiras bem definidas, no Departamento de Engenharia Elétrica e Ciências da Computação da Universidade da Califórnia, em Berkeley. Ele estava interessado em criar e implementar softwares interativos, capazes de tomar algumas decisões próprias. Foi neste contexto, que Zadeh sentiu dificuldades em usar a teoria usual dos conjuntos, na qual a forma abrupta com que um elemento passa ou deixa de pertencer a um conjunto, não contemplava muitos dos fenômenos que ocorrem no dia-a-dia, e percebeu que o raciocínio humano cria mecanismos que realizam tal tarefa de modo menos abrupta, com maior clareza e aceitabilidade.

Os sistemas lógicos tradicionais estão intimamente relacionados com a teoria dos conjuntos, conforme Cruz (2001), e assim Zadeh trabalhou com a possibilidade da construção de uma lógica, capaz de adequar também os conjuntos Fuzzy aos “padrões” das lógicas já consagradas. A esse novo sistema, ele denominou de Lógica Fuzzy.

Apesar das duras críticas de uns, e ceticismos por parte de outros no início de seu desenvolvimento, sua fundamentação rigorosa foi se consolidando sem, contudo alcançar ainda uma forma acabada. Porém, seu uso principalmente em áreas de estudos nas quais se desenvolvem tecnologias elétricas, eletrônicas e computacionais, é bastante expressivo e com resultados satisfatórios quando comparados com teorias tradicionais.

A Lógica Fuzzy tem sido decisiva no desenvolvimento da teoria do controle e análises de decisão, pois muitos sistemas lineares e não-lineares, de difícil modelagem matemática com teorias clássicas, têm seus modelos matemáticos facilitados, ocorrendo o mesmo com sua operacionalidade.

Ortega (2001) afirma ainda, que a Lógica Fuzzy alcançou rápido desenvolvimento, devido a sua característica, que é a tentativa de sistematização matemática da lógica do pensamento e da linguagem humana, posteriormente passada para linguagem de máquina.

Para melhor compreensão da aplicação da Lógica Fuzzy feita neste trabalho, serão colocados a seguir algumas de suas definições e conceitos básicos.

4.2.2 Valor Verdade de uma Proposição

Conforme Cruz (2001), na lógica clássica, o valor verdade de uma proposição assume o valor zero, se for falsa e o valor um, se for verdadeira. Porém na Lógica Fuzzy, o valor verdade de uma proposição, pode ser um subconjunto Fuzzy de qualquer conjunto parcialmente ordenado. Por suas propriedades de reticulado, usa-se o intervalo $[0, 1]$. Portanto, na Lógica Fuzzy o valor verdade não é simplesmente zero ou um, mas uma infinidade de valores verdades, os quais são expressões lingüísticas interpretadas como subconjuntos Fuzzy do intervalo $[0, 1]$. Como aplicação, tem-se: falso, muito falso, pouco falso, mais ou menos falso, pouco verdadeiro, verdadeiro, muito verdadeiro e outros mais.

4.2.3 Predicados

Conforme Nguyen e Walker (1999), o raciocínio aproximado refere-se ao processo no qual se obtêm conclusões a partir de premissas imprecisas. Quando esta imprecisão é considerada Fuzzy, o termo “raciocínio Fuzzy” é utilizado. Quando se utiliza o método dedutivo *modus ponens* na Lógica Fuzzy, a diferença para a Lógica Clássica está nos predicados envolvidos. Enquanto na Lógica Clássica os predicados usados são do tipo igual a, maior do que, primo ou par, na Lógica Fuzzy os predicados são termos usados na linguagem natural, sendo modelados como subconjuntos Fuzzy. Caso típicos destes últimos são termos como quente, frio, idoso, jovem ou alto.

4.2.4 Quantificadores

Conforme Klir e Yuan (1995), como nos predicados, na Lógica Clássica são usados apenas os quantificadores existencial ($\exists$) e universal ($\forall$). Entretanto, na Lógica Fuzzy são usados muitos quantificadores além do existencial e do universal. São frequentes os quantificadores: pouco, muito pouco, pouquíssimo, muito pequeno, muito

grande e muitos outros. Uma consequência imediata aponta para a flexibilidade da Lógica Fuzzy.

4.2.5 Conjunto Fuzzy

A idéia concebida por Zadeh se torna interessante, conforme Feitosa (1992) e Cruz (1996), na medida que associa a cada elemento de um conjunto, um certo número real do intervalo $[0,1]$, e que cada conjunto corresponde a um predicado lógico e os elementos do conjunto aos objetos que satisfazem o predicado. Desta maneira, pode-se dizer que esse número real é o grau de verdade com que o elemento satisfaz o predicado. Tem-se, então, a seguinte definição de um conjunto Fuzzy, conforme Zadeh (1965):

“Seja $U \neq \emptyset$. Um Conjunto Fuzzy A , é uma função $f_A: U \rightarrow [0,1]$, onde o conjunto U é chamado de universo de A , com $A \subseteq U \times [0,1]$ e f_A é denominado o conjunto verdade de A ”

É comum identificar o conjunto Fuzzy A com sua função verdade f_A , isto é, $A \equiv f_A$ em vez de se dizer que um elemento x de U pertence ao conjunto A , dizer “grau de pertinência de x ”, sendo este grau representado por $f_A(x)$ e com valores de 0 (zero) a 1 (um), ou, em porcentagem. Considera-se que se $f_A(x)=1$, o grau de pertinência de x ao conjunto A é de 100% ou seja, de completa inclusão ao conjunto, e se $f_A(x)=0$, o grau de pertinência de x ao conjunto A é 0%, ou seja, de completa exclusão do conjunto. Ao se representar o conjunto A usando pares ordenados, os elementos com grau de pertinência 0% geralmente não são colocados e para os que têm grau de pertinência 100%, coloca-se apenas o elemento de U , omitindo o grau de pertinência associado.

4.2.6 Operações com Conjuntos Fuzzy

Na teoria dos conjuntos Fuzzy, as operações entre os eles também são possíveis. Conforme Feitosa (1992), tem-se:

Sejam U , conjunto universo, e $A = \{(x, f_A(x)), \forall x \in U\}$, $B = \{(x, f_B(x)), \forall x \in U\}$, dois conjuntos Fuzzy. Têm-se as seguintes definições:

4.2.6.1 Igualdade de Conjuntos

Diz-se que $A=B$, se e somente se, $f_A(x) = f_B(x), \forall x \in U$.

4.2.6.2 Conjunto Vazio

Um conjunto Fuzzy A é vazio, e escreve-se $A = \emptyset$, se e somente se $f_A(x) = 0, \forall x \in U$.

4.2.6.3 Conjunto Universo

$A=U$, se e somente se, $f_A(x) = 1, \forall x \in U$.

4.2.6.4 União de Conjuntos

$A \cup B = \{(x, \max\{f_A(x), f_B(x)\}), \forall x \in U\}$. Para indicar a expressão $\max\{f_A(x), f_B(x)\}$, usa-se a notação $f_A \vee f_B$, onde $\vee$ é o conectivo “ou”.

4.2.6.5 Intersecção de Conjuntos

$A \cap B = \{(x, \min\{f_A(x), f_B(x)\}), \forall x \in U\}$. Usa-se a notação $f_A \wedge f_B$, para indicar a expressão $\min\{f_A(x), f_B(x)\}$. O símbolo $\wedge$ é o conectivo “e”.

4.2.6.6 Conjunto Complementar

Denota-se o complementar do conjunto Fuzzy A por $\neg A$, e define-se o conjunto complementar de A por $f_{\neg A}(x) = 1 - f_A(x)$, $\forall x \in U$

O fato de ser usado nas definições 4.2.6.4, 4.2.6.5 e 4.2.4.6, respectivamente os conectivos $\vee$, $\wedge$, $\neg$, e ainda $\rightarrow$ (se...então), modelados pelo máximo, mínimo, $1 - f_A$ e $a \rightarrow b = 1 \wedge (1 - a + b)$, $\forall a, b \in U$, leva a concluir que uma sentença matemática Fuzzy pode admitir outros valores verdades que não sejam 0(falsa) ou 1(verdadeira).

Ressalta-se ainda, que em notação Fuzzy, na Lógica que leva o mesmo nome, a pertinência dos elementos de um subconjunto A de um conjunto universo U, com A e U considerados como na teoria clássica dos conjuntos, é feita usando-se a função característica com respeito ao conjunto A. Tem-se então:

$$f_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in A \\ 0, & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

É comum se usar a notação φ_A ou simplesmente φ para designar a função de pertinência f_A .

4.2.7 Funções de Pertinência

Conforme Pedrycz e Gomide (1998), em princípio uma função da forma $\varphi: X \rightarrow [0, 1]$ descreve uma função de pertinência associada com um conjunto X, que não depende somente do conceito a ser representado, mas também do contexto no qual é usada. Para entendimento, seja a idade de uma pessoa o conceito a ser representado, e anos, sua unidade de medida. Existem muitos contextos em que tal conceito pode ser estudado e com exigências diferentes, variando de um contexto para outro a função de pertinência mais adequada. Se o interesse estiver, por exemplo, em representar o fato de que a idade de uma pessoa é em torno de 20 anos, pode-se usar uma função triangular, cujo gráfico é mostrado na

Figura 1, onde μ_I indica a função de pertinência para a idade estudada; entretanto, se o objetivo é representar a idade abrangendo o período de 18 a 23 anos, com a qual uma pessoa realiza um determinado curso superior (graduação), o mais adequado pode ser uma função trapezoidal; ilustrado pela Figura 2, onde μ_I tem significado análogo ao da figura 1. Uma outra situação, ainda, pode ser a representação da idade de uma pessoa considerada idosa, num país cuja expectativa de vida é de 70 anos. Neste caso uma função sigmoidal pode ser a melhor opção, conforme Figura 3, onde μ_I tem para a idade considerada o mesmo significado das figuras 1 e 2. Portanto, para um mesmo conceito, pode ocorrer que um tipo de função se adapte mais do que outro ao problema estudado. Somente o contexto da aplicação é que pode dizer qual tipo de função particular é mais conveniente. É importante notar que para os gráficos das Figuras 1, 2 e 3, conforme os valores se aproximam do valor ou faixa de valor de interesse, mais o grau de pertinência se aproxima de 1, ou seja, do conceito e contexto representado. A Figura 1 mostra uma particularidade que é a simetria na distribuição dos valores menores e maiores do que 20, onde o grau de pertinência é 1. Tal particularidade é desejada em aplicações de lógica Fuzzy, pois facilita a análise.

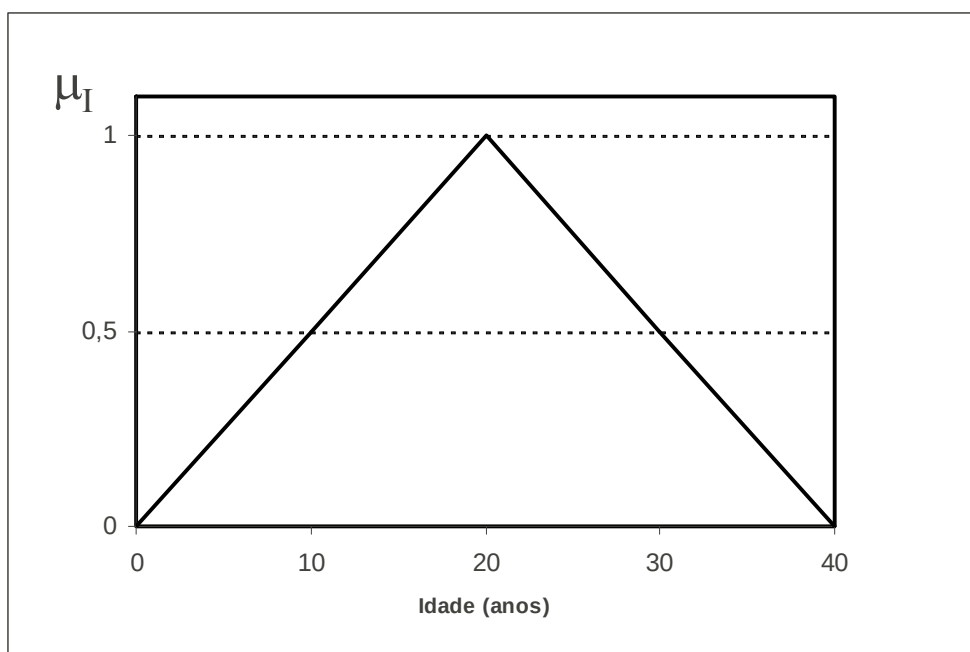


Figura 1 Função de pertinência para idade em torno de 20 anos

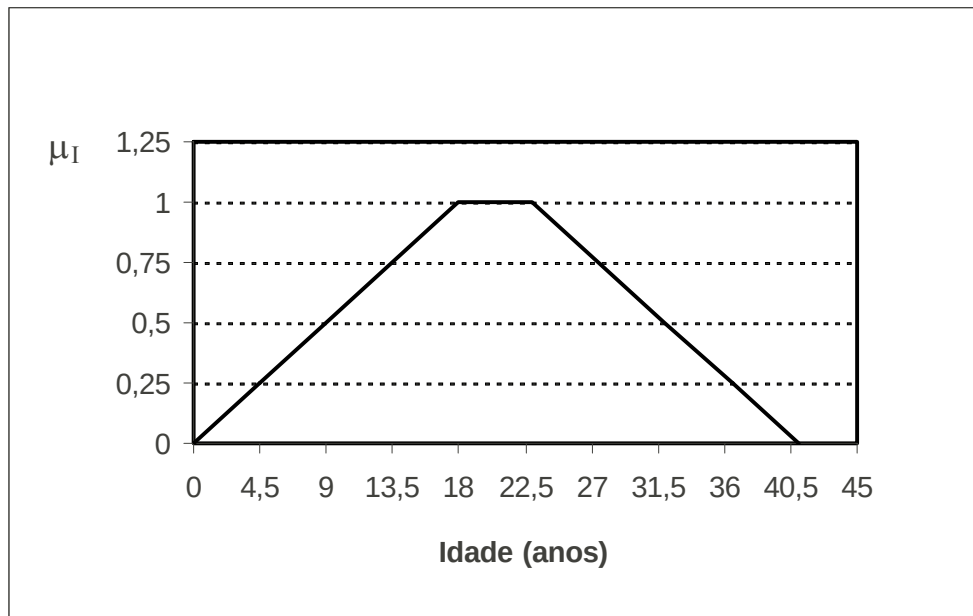


Figura 2 Função de pertinência para idade escolar de 18 a 23 anos

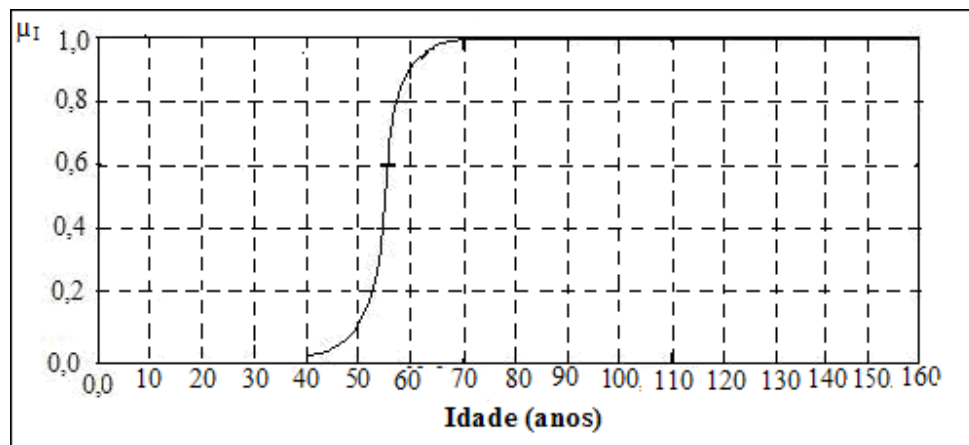


Figura 3 Função de pertinência para pessoa idosa

Além das funções de pertinência triangular, trapezoidal e sigmoide, cujas expressões gerais são dadas respectivamente pelas expressões (2), (3) e (4), encontra-se, também na prática, conforme Aguiar e Junior (1999), a função gaussiana cuja expressão geral é dada por (5). Para os mesmos autores, as funções triangulares e gaussianas são usadas normalmente em casos nos quais se deseja exprimir pertinência crescente à esquerda e

decrecente à direita. As funções trapezoidais são usadas na mesma situação, com a diferença de que se deseja “alargar” a faixa de pertinência máxima. As funções sigmoidais ou curva “S” são usadas nos casos em que se busca delimitar pontos extremos, a partir dos quais a pertinência se mostra constante.

A definição geral de uma função triangular, conforme Pedrycz e Gomide (1998), é dada pela expressão:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m] \\ \frac{b-x}{b-m}, & \text{se } x \in [m, b] \\ 0, & \text{se } x \geq b \end{cases} \quad (2)$$

na qual, a e b denotam, respectivamente, os limites inferior e superior para valores diferentes de $\mu(x)$, e juntamente com m tal que $a < m < b$ são as três abscissas dos vértices da função triangular.

As funções trapezoidais têm como definição geral, segundo os mesmos autores, a expressão:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x < a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m] \\ 1, & \text{se } x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-n}, & \text{se } x \in [n, b] \\ 0, & \text{se } x > b. \end{cases} \quad (3)$$

para a qual a , b , m e n são as abscissas dos quatro vértices do trapézio e satisfazem ainda a relação $a < m < n < b$.

Os autores citados anteriormente definem funções sigmoidais e gaussianas as funções, cujas expressões são respectivamente dadas pelas expressões (4) e (5)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & \text{se } x \in [a, m] \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & \text{se } x \in [m, b] \\ 1, & \text{se } x > b. \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu(x) = e^{-k(x-m)^2} \quad (5)$$

onde $k > 0$.

4.2.8 Variáveis Lingüísticas

Outro conceito decisivo na Lógica Fuzzy é o de Variável Lingüística.

Conforme Ortega (2001), caracteriza-se como Variável Lingüística Fuzzy uma variável cujo valor é expresso qualitativamente por um termo lingüístico (que fornece um conceito à variável) e quantitativa por uma função de pertinência. Logo, uma variável lingüística Fuzzy pode ser definida por uma quadrupla (n, T, X, s) , onde n é o nome da variável, T o conjunto de termos lingüísticos de n , X o domínio ou conjunto universo de valores de n sobre o qual o significado do termo lingüístico é determinado e s , uma função semântica que faz corresponder a cada termo lingüístico $t \in T$, o conjunto Fuzzy $s(t)$, em X . A função s é definida em subconjuntos do conjunto X , tomando valores no intervalo $[0, 1]$.

Como ilustração para entendimento, seja n = altura de pessoas, medidas em cm. Neste caso tem-se: o conjunto dos termos lingüísticos de n pode ser: $T = \{\text{alto, baixo, pouco alto, muito alto}\}$, X o conjunto no qual os valores de n adquirem seu significado; por exemplo, pode-se tomar $X = [30, 300]$, e $s(t)$ são os conjuntos Fuzzy associados aos elementos de T . Como exemplo de conjunto Fuzzy $s(t)$ pode-se tomar: $s(\text{baixo}): [30, 100] \rightarrow [0, 1]$.

4.2.9 Lógica Fuzzy – Aplicações

A capacidade que a teoria Fuzzy possui de mapear, analisar, inferir e tirar conclusões de problemas imprecisos e não exatos do dia-a-dia das pessoas de maneira mais precisa e simples, torna-a mais atrativa do que as teorias matemáticas tradicionais. Por isso, sua aplicabilidade é ampla e aumenta vertiginosamente, apesar de muitas críticas feitas por matemáticos, não considerando a Lógica Fuzzy como uma Lógica Matemática nos padrões atuais. Ela não é ainda uma teoria matemática perfeitamente consistente e completa, uma vez que deixa de satisfazer algumas exigências da Lógica Clássica, principal responsável pela verificação da veracidade ou não de uma teoria matemática. Contudo, mesmo sem esta perfeição e consistência, a viabilidade da aplicação da Lógica Fuzzy como uma Teoria Matemática tem sido aceita nos meios técnicos e científicos, conforme Cruz (1996).

O desenvolvimento da Teoria Fuzzy, segundo Bose (1996), tem resultado em significativos avanços em vários campos de estudo, e sua aplicabilidade é comprovada em controle de processos, modelagem, estimação, identificação e diagnóstico. Controles Fuzzy, já desenvolvidos e utilizados em processo complexos, mostram um desempenho superior a outros controles, como por exemplo, o Proporcional Integral Derivativo(PID). Destaca-se, ainda, que juntamente com outras técnicas, como as Redes Neurais, resultam num instrumental poderoso na solução de problemas de alta complexidade, insolúveis sem o citado ferramental. O estudo de Redes Neurais, juntamente com os Sistemas Fuzzy, já constituem uma disciplina da grade curricular de muitos cursos de Pós-Graduação com o nome de Sistemas Inteligentes.

São elencadas a seguir algumas das muitas aplicações encontradas na literatura.

1 - Utilizando dois cenários de referência, um com iluminação e outro focalizando a expansão da geração de energia elétrica, Haddad (1993) fez uso de Conjuntos Fuzzy para análise de conservação de energia elétrica.

2 - O intenso uso da Lógica Fuzzy em controle de motores no Japão, revolucionou segundo Reznick (1997), a fabricação de produtos eletroeletrônicos e tornou os trens de metrô mais seguros, confortáveis, além de economizarem energia elétrica.

3 - Segundo Bose (1996), com o desenvolvimento da Teoria Fuzzy, muitos são os resultados significativos surgidos na ciência, na tecnologia, na engenharia, e sua aplicabilidade comprovada em controle de processos, modelagem, estimação, identificação e diagnóstico.

4 - Gouvêa Junior (1998) aplicou um sistema híbrido neuro-Fuzzy na solução do problema do fluxo ótimo de potência reativa.

5 - Fazendo experiências para otimizar a produção de energia eólica, Simões et al. (1999) obtiveram resultados considerados positivos e muito promissores.

6 - Ribacionka (1999) mostra o emprego da Lógica Fuzzy em programas computacionais, simulados em sistemas de freios de automóveis.

7 - Utilizando um controlador Fuzzy juntamente com um A_p -hiperbolóide de carga, Gabriel et al. (2000) apresentaram uma nova alternativa no estudo de racionalização do uso de energia elétrica em geral.

8 - A Teoria Fuzzy está sendo aplicada com sucesso no diagnóstico de falhas de transformadores, podendo ser utilizada ainda com a mesma finalidade, com vantagens, sobre sistemas que utilizam teoria convencional, conforme Biondi Neto e Chiganer (2000). Os mesmos autores comentam, ainda, que face aos resultados obtidos com transformadores, é válida a intensificação das pesquisas com sistemas usando Teoria Fuzzy.

9 - Cruz (2001) utilizou, com sucesso, a Lógica Fuzzy, no desenvolvimento de modelagem matemática para o cálculo do tempo de aeração em silos verticais, visando reduzir o consumo de energia elétrica.

10 - Ortega (2001) mostra a eficiência da Lógica Fuzzy sobre a Lógica Clássica nos modelos usados em epidemiologia e em biomedicina.

11 - Usada em conexão com Rede Neural Artificial (RNA), a Teoria Fuzzy forma um sistema híbrido neural/Fuzzy para monitoramento de motores de indução, por meio da relação de entradas e saídas dos estados esperados, segundo Soares e Braga (2001).

12 - Lima (2003) usou sistema decisório fuzzy para a determinação da melhor condição de funcionamento de um UC, implantando um projeto de sistema de gerenciamento do uso de energia elétrica aplicado no lado da demanda. Tal sistema obteve sucesso, entre outras coisas, por levar em conta as experiências do projetista sobre as variáveis incertas relacionadas ao projeto.

4.3 Fator de Carga

Uma das formas mais utilizadas de avaliar como a energia elétrica está sendo consumida é, conforme Porto (1991), o uso de parâmetros elétricos, cujas variações podem ser acompanhadas juntamente com a produção. Assim, para verificar a relação entre a eficiência energética e o consumo numa UC, utiliza-se seu fator de carga. Fator de carga baixo indica concentração de consumo de energia elétrica em um curto período de tempo e conseqüentemente, demanda elevada no mesmo período. Isto pode acontecer quando muitos equipamentos são ligados simultaneamente, como ocorre no início do processo de produção de uma UC.

Faccenda (1997), estudando as curvas de cargas típicas dos dias úteis, no estado de São Paulo, verificou que os picos diários de consumo no horário de ponta são menores do que os apresentados em nível nacional e que as medidas indiretas para evitar o racionamento de energia no Estado. Apresentam resultados positivos como o aumento significativo no fator de carga, o que possibilitou suportar a crescente defasagem entre o aumento no consumo e o aumento na capacidade instalada de energia elétrica.

O custo real da energia elétrica consumida não é fixo, e depende do grau de racionalização com que é utilizada, segundo Bellini e Neves (1986). Este grau de racionalização é medido por meio de um índice chamado fator de carga (FC), que assume por este motivo grande importância para os consumidores de energia elétrica de alta tensão, não podendo jamais ser ignorado ou negligenciado. Para os mesmos autores, o fator de carga é o responsável principal dentre os índices elétricos, pela diminuição dos custos operacionais ou investimentos para a expansão das instalações elétricas de uma UC. Portanto, tal índice deve ser enfatizado quando se forem feitos estudos nos sentido de estabelecer programas de uso racional de energia elétrica, ou no enquadramento tarifário de uma UC. No gráfico da Figura 4, é mostrada a variação do preço médio da energia elétrica em função do fator de carga.

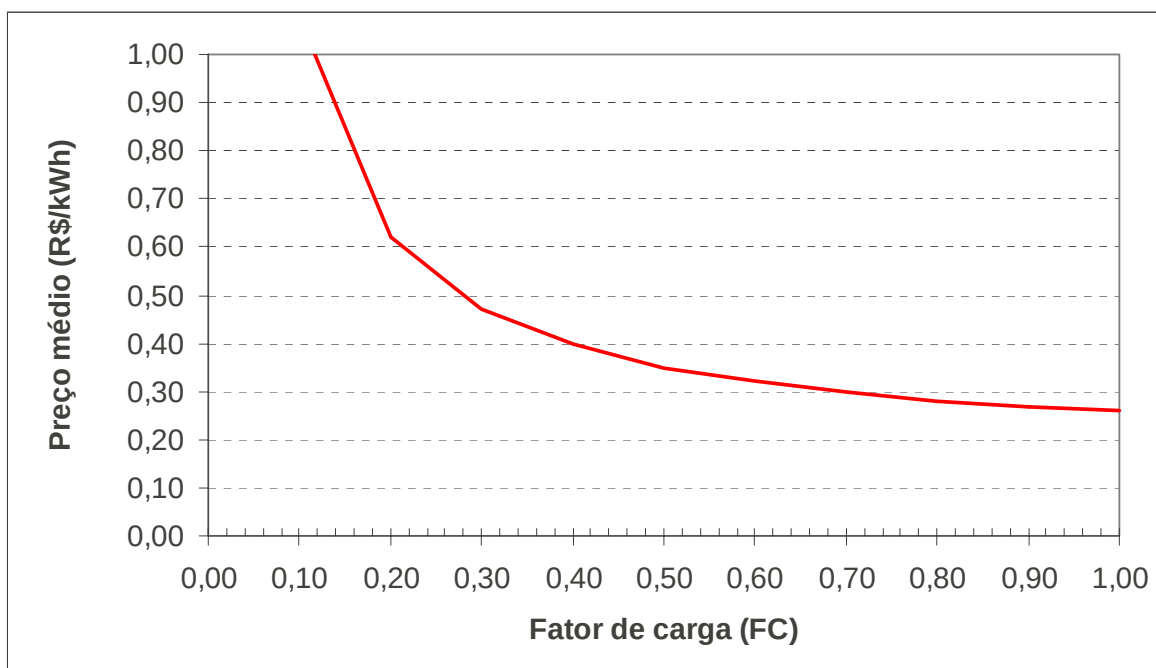


Figura 4: Variação do preço médio de energia elétrica, em função do fator de carga

Conforme Manual (1982), o fator de carga (FC) é definido como sendo o valor da razão entre as demandas média e máxima, relativas a um mesmo período de tempo T considerado. Matematicamente, tem-se:

$$FC = \frac{D_{\text{méd.}}}{D_{\text{máx.}}} \quad (6)$$

onde: $D_{\text{méd.}}$ = razão entre o consumo de energia elétrica e o número de hora do período considerado, e $D_{\text{máx.}}$ = maior demanda verificada por meio de medição em qualquer intervalo de 15 minutos, durante o período considerado. Ressalta-se que $0 < FC \leq 1$.

Assim, o fator de carga (FC) pode ser interpretado como um fator percentual da energia; em outras palavras, a instalação só consome uma porcentagem igual ao FC do que consumiria com a demanda máxima. O fator de carga, conforme Lima (2003), depende do intervalo de tempo em que a demanda é medida, do período de tempo considerado e do tipo de instalação. Em geral, para um determinado tipo de instalação, quanto maior o

período considerado, menor o fator de carga, isto porque, quanto maior o período, menor a demanda média, mantendo-se a demanda máxima. Ressalta-se que para se obter um valor maior para o fator de carga de uma UC, três alternativas podem ser consideradas: a primeira é aumentar o valor da energia consumida, mantendo-se a mesma demanda máxima ou diminuindo-a; a segunda é diminuir o valor da demanda máxima, mantendo-se o valor da energia consumida ou aumentando-o, e a terceira, é combinar as duas alternativas anteriores.

Considerando-se a energia total como sendo o consumo de energia elétrica (C) e a demanda máxima $D_{\text{máx}}$, sendo a maior demanda registrada (D) no período de tempo T, tem-se, conforme Gabriel (1994):

$$\text{Energia(kWh)} = D_{\text{méd.}}(\text{kW}) \cdot \text{tempo(T)} \Rightarrow D_{\text{méd.}}(\text{kW}) = \frac{\text{Energia(kWh)}}{\text{tempo(T)}},$$

portanto,

$$FC = \frac{D_{\text{méd.}}}{D_{\text{máx.}}} = \frac{\frac{\text{Energia(kWh)}}{\text{tempo(T)}}}{D_{\text{máx.}}} = \frac{\text{Energia(kWh)}}{D_{\text{máx.}} \cdot \text{tempo(T)}} = \frac{\text{Consumo}}{D \cdot T}, \text{ ou ainda,}$$

$$FC = \frac{C}{D \cdot T} \quad (7)$$

Se na equação (7) for considerado $T = 730\text{h}$, número de horas de um mês médio, conforme Companhia Energética de São Paulo (1996), tem-se:

$$FC = \frac{C}{730 \cdot D}, \quad (8)$$

que é o fator de carga mensal.

Considerando na equação (7), $T = 664\text{h}$, número de horas do horário fora de ponta de um mês médio, conforme Companhia Energética de São Paulo (1996), tem-se a equação:

$$H = \frac{C}{664 \cdot D} \quad (9)$$

Onde:

H é o fator de carga do horário fora de ponta.

Para a equação (7), se for considerado $T = 66h$ número de horas do horário de ponta de um mês médio, conforme Companhia Energética de São Paulo (1996), tem-se o fator de carga do horário de ponta, ou F, dado por::

$$F = \frac{C}{DP \cdot 66}, \quad (10)$$

onde:

F = fator de carga do horário de ponta, e

A equação (10) pode também ser escrita como segue:

$$F = \frac{CP}{DP \cdot 66} \quad (10')$$

Onde:

F = fator de carga do horário de ponta;

DP = demanda do horário de ponta, e

CP = consumo do horário de ponta.

4.4 Índice de Utilização de Energia Elétrica

O índice de utilização de energia elétrica (I), conforme Lima (2003), constitui-se num valor numérico que possibilita a comparação dos preços médios das estruturas tarifárias horo-sazonal azul e verde. Isto se deve ao fato desse índice relacionar os consumos de energia elétrica do horário de ponta (CP) com o consumo total (CT) de uma UC, sendo calculado por meio da equação:

$$I = \frac{CP}{CT}. \quad (11)$$

O autor afirma ainda, que, conhecendo-se a forma de cálculo do FC, do I e do preço médio da energia elétrica consumida, verificadas também as condições legais de aplicação das estruturas tarifárias do grupo A, é possível se fazer a análise para determinar o enquadramento tarifário da UC à estrutura mais conveniente de tarifa. Contudo, esta análise não deve ser feita baseando-se somente nas condições atuais do sistema, mas sim, em suas potencialidades, contemplando a capacidade de deslocamento de cargas do horário de ponta, a possibilidade do aumento do fator de carga e também a confiabilidade do sistema de controle de demanda empregado. O aumento do fator de carga e a diminuição de I estão diretamente relacionados com a redução do preço médio da energia elétrica consumida.

4.5 Melhor Opção de Estrutura Tarifária

Entende-se como a melhor opção tarifária, a estrutura tarifária cujo valor do importe é o menor das três estruturas existentes no momento. O importe IM, conforme Comitê (1995), é o valor em reais da soma das parcelas referentes ao consumo e a demanda do fornecimento de energia elétrica para determinada UC.

Descrevem-se a seguir, dois métodos que já são usados para cálculo da melhor opção tarifária: comparação dos preços médios da energia elétrica nas três estruturas tarifárias e análise de gráficos cartesianos construídos por Manzine (2000), tomando-se como referência o índice de utilização de energia elétrica e o fator de carga do horário de ponta.

4.5.1 Preço Médio da Energia Elétrica

Uma forma utilizada para se analisar financeiramente qual a estrutura tarifária de energia elétrica mais conveniente para uma UC é a comparação do valor do preço médio P_m das três estruturas tarifárias hora vigentes para consumidores do grupo A que, de acordo com a Resolução 456/2000 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, são: Estrutura tarifária convencional (ETC), Modalidade tarifária horo-sazonal azul (MTHSA) e Modalidade tarifária horo-sazonal verde (MTHSV). A formulação matemática para o cálculo dos valores do preço médio P_m para as estruturas tarifárias vigentes para consumidores do subgrupo A4, tem sua sustentação teórica e prática em conceitos de matemática financeira, de engenharia econômica, em parâmetros e índices de consumo e demanda de energia elétrica. Tem ainda como embasamento legal, a legislação do setor elétrico brasileiro, principalmente a Resolução conforme Brasil (2000a), que regulamenta o fornecimento de energia elétrica para todos os consumidores de energia elétrica.

4.5.1.1 Expressões Matemáticas do Preço Médio

Conforme Companhia Energética de São Paulo (1996), as expressões matemáticas para se calcular o preço médio da energia elétrica consumida, em cada estrutura tarifária, é:

$$P_m = \frac{CP}{CT} \cdot \left(\frac{TDP}{F \cdot 66} + TCP \right) + \left(\frac{TDFP}{FCFP \cdot 664} + TCFP \right) \cdot \left(1 - \frac{CP}{CT} \right) \quad (12)$$

para MTHSA.

$$P_m = \frac{TD}{FC \cdot 730} + \frac{CP}{CT} (TCP - TCFP) + TCFP \quad (13)$$

para MTHSV.

$$P_m = \frac{TD}{FC \cdot 730} + TC \quad (14)$$

para ETC

A demonstração matemática das expressões (12), (13) e (14) são exibidas no APÊNDICE 6. Os conceitos e definições usados, estão de acordo com Comitê (1995), e Resolução 456/2000, da ANEEL.

Ressaltasse que, conforme a mesma Resolução, os preços cobrados das tarifas de demanda e consumo não são os mesmos para as duas estruturas tarifárias, e para a estrutura tarifária horo-sazonal, os preços são diferentes para cada uma das modalidades azul e verde.

4.5.2 Preço Médio Usando Dados Praticados por uma UC

Uma outra maneira de se analisar qual a melhor opção econômica de estrutura tarifária por meio de preço médio, é calculá-lo anualmente, utilizando-se o importe anual do consumo e dividi-lo pelo consumo total anual. Devido a este fato, é necessário se fazer distinção quanto ao emprego do termo “preço médio”. Quando se calcula o preço médio, usando-se as fórmulas do item 4.5.1.1, não se considera a cobrança ou desconto de impostos e outras taxas que incidem sobre os preços das tarifas de demanda e consumo de energia elétrica, estabelecidas pela ANEEL, ou no importe final. Logo, é o preço médio da energia elétrica consumida pura e simplesmente.

Para a outra maneira, consideram-se os preços das tarifas de consumo e demanda estabelecidos pela ANEEL, com todos os impostos e taxas que incidem sobre elas e sobre o importe final.

Convém salientar, que as duas maneiras de se considerar o preço médio da energia não são conflitantes, pois o cálculo do preço médio sem levar em conta impostos e encargos cobrados é aplicado com a UC, sem gastar energia elétrica efetivamente, contrariamente ao que acontece quando se considera a nota fiscal de energia elétrica.

4.5.3 O Gráfico Cartesiano em Função do Índice de Utilização e Fator de Carga do Horário de Ponta

Objetivando ainda o estudo da melhor opção tarifária para uma determinada UC, Manzine (2000) utilizou gráficos cartesianos onde representou, no eixo das abscissas, o índice de utilização de energia elétrica e, no eixo das ordenadas, o fator de carga do horário de ponta. Nas Figuras 5 e 6, observam-se duas regiões onde não é possível com as duas variáveis usadas, concluir qual a melhor opção tarifária. Esta impossibilidade se deve ao fato de serem necessárias também informações sobre o consumo e demanda no horário fora de ponta.

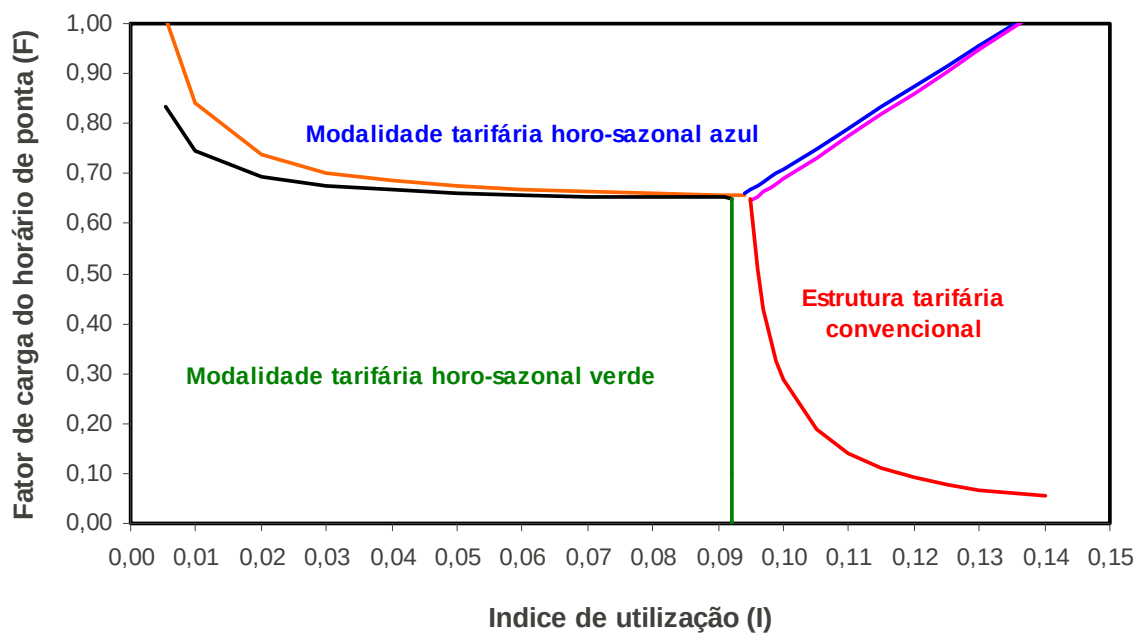


Figura 5 Região de menor preço médio por kWh de energia elétrica consumida em período seco

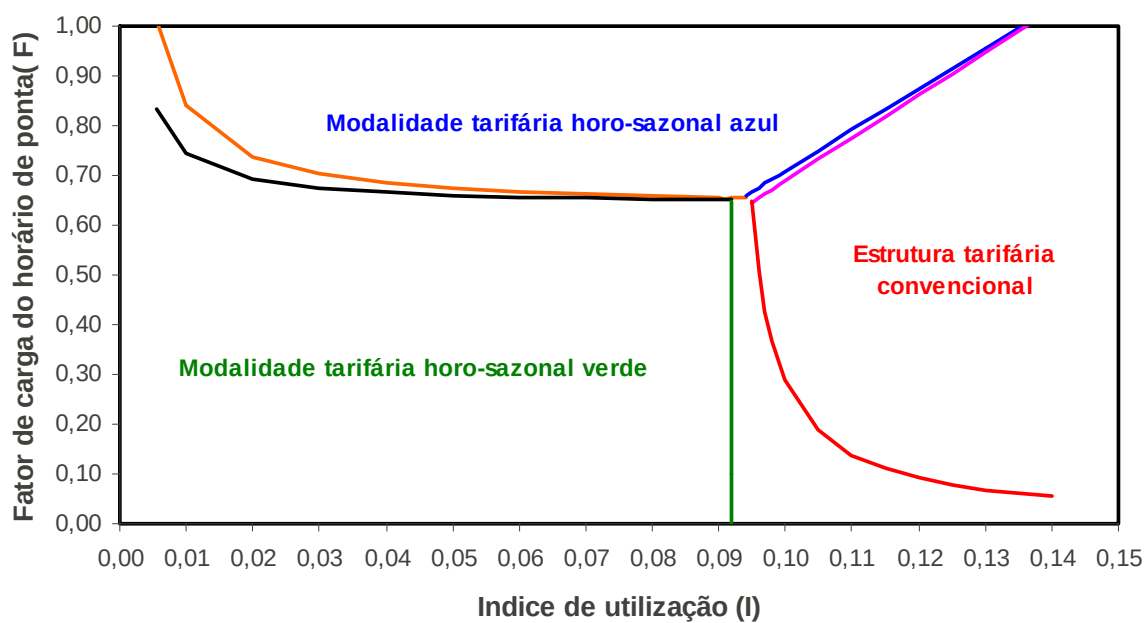


Figura 6 Região de menor preço médio por kWh de energia elétrica consumida em período úmido

4.6 Legislação Tarifária

A Legislação que regulamenta as atividades do Setor Energético Nacional e, em particular, o Setor Elétrico Nacional, é ampla, complexa e abrangente. Na última década, foi intenso o movimento em torno da solidificação da Legislação do Setor Elétrico Nacional com sua conseqüente modernização, aperfeiçoamento e ampliação, tudo para contemplar as rápidas e profundas mudanças que vem ocorrendo sistematicamente neste setor da atividade nacional. Destaca-se a privatização do Setor, desencadeada no ano de 1995, com sua desverticalização, passando a operar com os sistemas de geração, de transmissão, de distribuição e comercialização, cada um tendo sua própria Legislação. Também o avanço nas pesquisas e aumento da oferta de energia elétrica advindos, de fontes alternativas, têm feito com que haja intenso trabalho de legisladores e técnicos no sentido de regulamentar tais atividades. A elaboração de um modelo de Sistema Elétrico que favoreça o investimento de capital privado no Setor, tem sido buscado incessantemente nos últimos anos, e a Legislação, neste caso, exerce papel fundamental. A Legislação desempenha ainda papel decisivo na preservação do meio ambiente e na proteção de populações atingidas pela expansão do Sistema Elétrico, sendo igualmente de vital importância na segurança de equipamentos usados para gerar, transmitir, distribuir e comercializar energia elétrica. Para a execução deste trabalho de pesquisa, a legislação tarifária que vigora atualmente regulamentando o fornecimento de energia elétrica para todos os consumidores, e cujas preocupações fundamentais são as de racionalizar e conservar energia elétrica e elaborar um preço justo de tarifa satisfazendo consumidores de todas as camadas sociais, empresas de todos ramos de atividades, geradores, transmissores, distribuidores, comercializadores e outros interessados, tem como principal instrumento legal a Resolução 456/2000, da Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL. Além da Resolução anterior, ressaltam-se ainda, matérias, conforme Brasil (1989), que regulamenta desconto no fornecimento de energia elétrica para produtores rurais em nível nacional, e do Decreto Nº 45490, do ano 2000, da Secretaria de Estado dos Negócios da Fazenda do Estado de São Paulo, que isenta os produtores rurais do estado de São Paulo, da cobrança de ICMS no fornecimento de energia elétrica, conforme São Paulo (2000).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

Para a execução deste trabalho de pesquisa, foram utilizadas cópias das contas de energia elétrica fornecidas pela Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL, abrangendo o período compreendido entre jul./ 2000 a dez./ 2003, da UC Granja Moretto situada no Bairro Duas Águas S/N – Vitoriana, município de Botucatu, SP. Sua atividade principal é dar suporte à produção de ovos da empresa. O horário de funcionamento é de segunda-feira a sábado das 7 às 17 horas, com intervalo das 11 às 12 horas, para almoço.

Recebe energia elétrica trifásica da Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, é classificada no subgrupo A4 (2,3 kV a 25 kV) com tensão nominal de 13,8 kV e tarifada pela ETC. O posto de transformação é uma cabine primária que abriga três transformadores respectivamente de 300, 75 e 45 kVA, ambos ligados a um único medidor.

O diagrama unifilar está representado na Figura 7.

O Quadro 1 indica, de forma resumida, onde a UC consome a energia elétrica, e os respectivos transformadores nos quais são ligadas as principais cargas.

Usou-se também Relatório de Curva de Cargas, emitido pela CPFL.

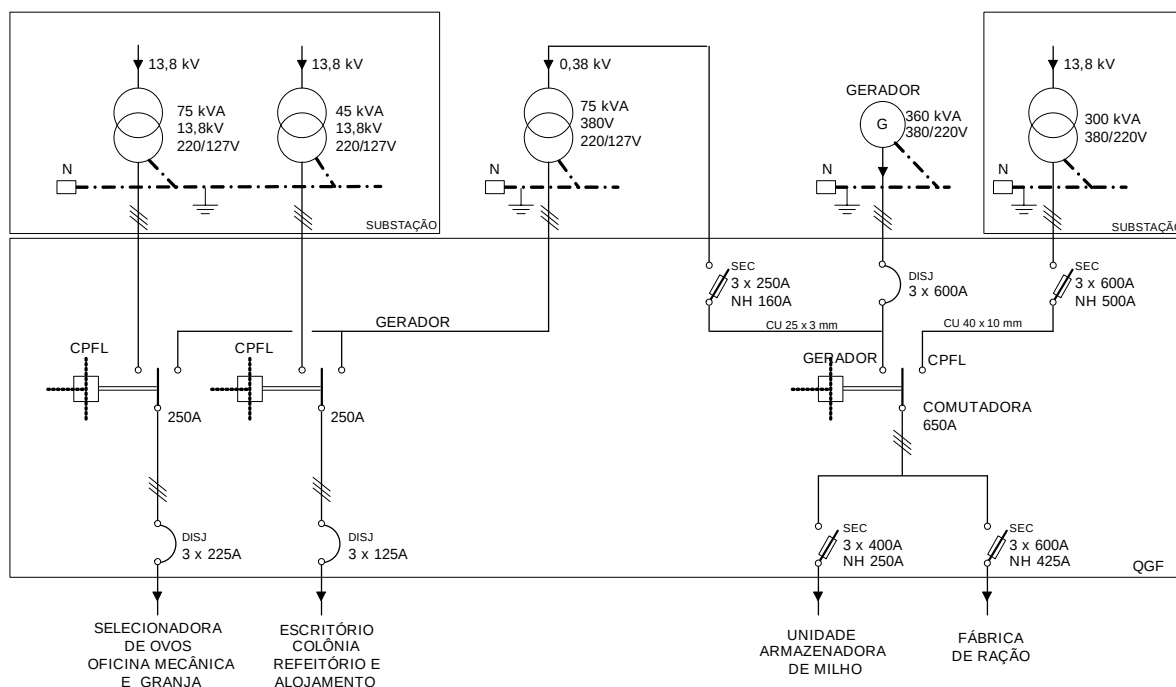


Figura 7 Diagrama unifilar da UC estudada

Quadro 1 Transformadores com suas principais cargas

Transformador de 300kVA	Transformador de 75 kVA	Transformador de 45 kVA
Fábrica de ração	Oficina mecânica (uso próprio)	Escritório
Unidade armazenadora de milho	Selecionadora de ovos	Colônia
	10 galpões de galinhas	Refeitório
		Alojamento

Utilizaram-se também dados de consumo e demanda de potência coletados na mesma UC, por um analisador de energia, Microvip trifásico, fabricado pela empresa ELCONTROL, representada no Brasil pela Eletronic Comercio e Representações Ltda - ESB, juntamente com uma unidade de memória capaz de armazenar as informações registradas.

5.2 Métodos

A presente pesquisa consistiu da aplicação de Teoria Fuzzy para o enquadramento tarifário de energia elétrica para consumidores agroindustriais do subgrupo A4, subgrupo caracterizado pela tensão de fornecimento cujos valores variam de 2,3 a 25 kV, conforme Brasil (2000a). Também foram usados valores constantes das contas de energia elétrica e dados de consumo e demanda de potência coletados de quinze em quinze minutos por um analisador de energia, para se fazer análise de enquadramento tarifário, bem como para o estudo da viabilidade da instalação de um controlador de demanda e de um Grupo Motor Gerador-GMG, para uma UC agroindustrial do subgrupo A4. O estudo econômico e financeiro de tal viabilidade foi feito com o uso do método do Valor Anual Equivalente-VAE, com taxa de juros de longo prazo-TJLP de 10%, referente ao mês de janeiro de 2004. Para determinar a viabilidade técnica de instalação do controlador de demanda, utilizaram-se também recursos estatísticos.

A verificação da validade da aplicação do Modelo Fuzzy construído, o qual foi fundamentado em conceitos de teoria dos Conjuntos e Lógica Fuzzy, foi feita com uso de simulações por meio de preços médios, calculados pelas fórmulas do item 4.5.1.1, nas diferentes modalidades tarifárias vigentes, de acordo com Companhia Energética de São Paulo (1996). Foram utilizados, ainda com a mesma finalidade, os gráficos cujos títulos são: região de menor preço médio por kWh de energia ativa consumida, período seco e região de menor preço médio por kWh de energia ativa consumida, período úmido, constantes das Figuras 5 e 6 respectivamente, conforme Manzine (2000).

5.2.1 Modelo Matemático Fuzzy para o Enquadramento Tarifário de UC de Energia Elétrica

Por meio de elementos de Teoria Fuzzy, apresenta-se o modelo matemático Fuzzy para o enquadramento tarifário de uma UC. Este modelo dependerá de dois índices vinculados ao consumo e demanda de energia elétrica de uma UC, a saber: fator de carga F do horário de ponta Eq. (10), e índice I de utilização de energia elétrica Eq. (11).

Usando-se os índices I e F , será construída uma tabela de dupla entrada, chamada Tabela Fuzzy que, juntamente com as Regras Fuzzy, que serão definidas na sequência, fornecerão os subsídios necessários para a determinação da estrutura tarifária mais conveniente.

O desenvolvimento do modelo foi feito para UC do subgrupo A4 e teve, como referências básicas, gráficos construídos por Manzine (2000) e simulações feitas no aplicativo computacional Excel com o índice de fator de carga fora de ponta H , cujo resumo se encontra na Tabela 1.

5.2.1.1 Determinação dos Conjuntos Fuzzy

A determinação dos conjuntos Fuzzy que representam o comportamento da variação do índice I de utilização e do fator de carga F do horário de ponta, foi possível com a obtenção de dois intervalos fechados de números reais, nos quais variam I e F . Para o índice I , tem-se o intervalo fechado $[0; 0,15]$. Conforme Companhia Energética de São Paulo (1996), a possibilidade de que uma UC opere com valor do índice I fora do intervalo considerado é pouco provável. O índice F tem como intervalo de variação, o intervalo fechado $[0; 1]$. A definição desse intervalo para o índice F tem como referência as equações (6) e (10').

As amplitudes das subdivisões dos intervalos de variação de I e de F , são, respectivamente, 0,01 e 0,10.

Os Conjuntos Fuzzy construídos para I e F podem ser visualizados nas Figuras 8 e 9, e a nomenclatura e os símbolos adotados são descritos nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

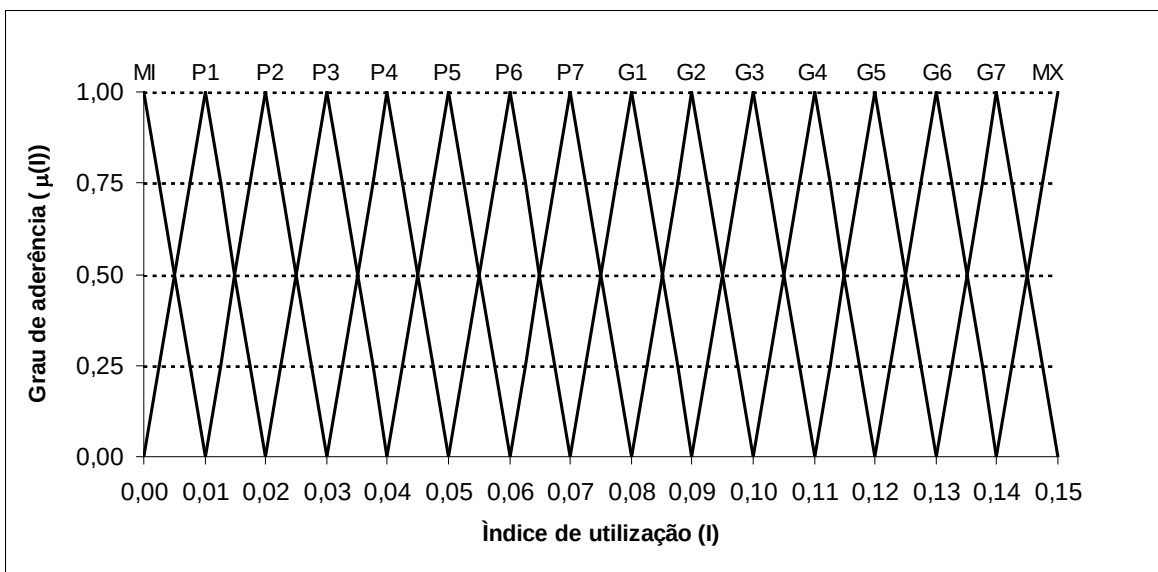


Figura 8. Conjuntos Fuzzy para a variação do índice de utilização

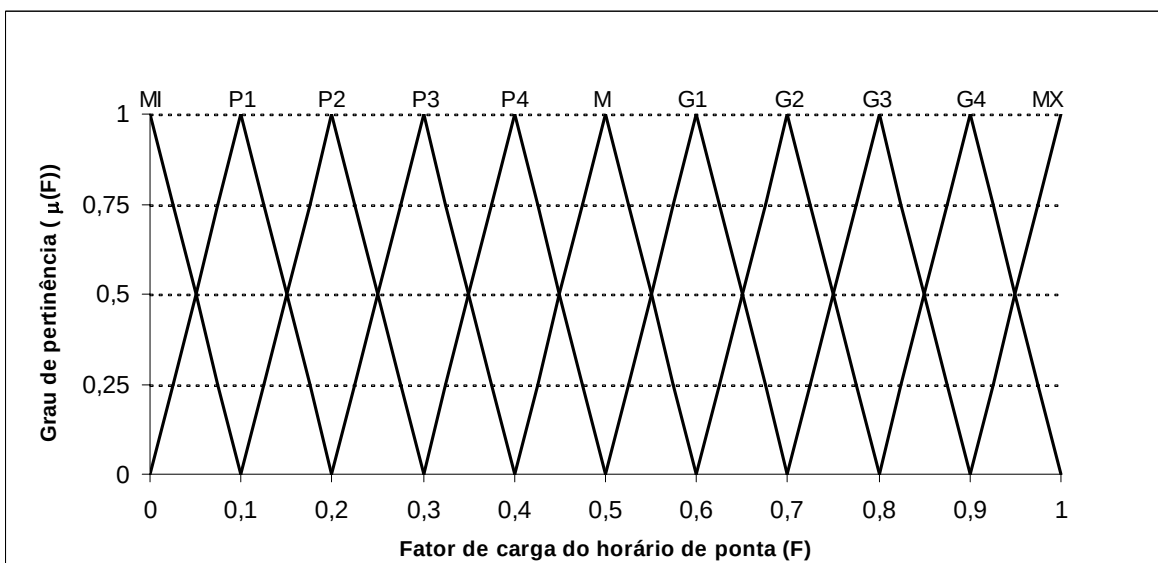


Figura 9. Conjuntos Fuzzy para a variação do fator de carga do horário de ponta

Os nomes e os símbolos para os conjuntos Fuzzy de I e F , das Figuras 8 e 9, estão descritos nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

Quadro 2. Nomenclatura e símbolo para os conjuntos Fuzzy de I.

Conjuntos Fuzzy para I	Símbolo
Mínimo	MI
Pequeno com grau 1	P1
Pequeno com grau 2	P2
Pequeno com grau 3	P3
Pequeno com grau 4	P4
Pequeno com grau 5	P5
Pequeno com grau 6	P6
Pequeno com grau 7	P7
Grande com grau 1	G1
Grande com grau 2	G2
Grande com grau 3	G3
Grande com grau 4	G4
Grande com grau 5	G5
Grande com grau 6	G6
Grande com grau 7	G7
Máximo	MX

Quadro 3. Nomenclatura e símbolo para os conjuntos Fuzzy de F.

Conjuntos Fuzzy para F	Símbolo
Mínimo	MI
Pequeno com grau 1	P1
Pequeno com grau 2	P2
Pequeno com grau 3	P3
Pequeno com grau 4	P4
Médio	M
Grande com grau 1	G1
Grande com grau 2	G2
Grande com grau 3	G3
Grande com grau 4	G4
Máximo	MX

5.2.1.2 Índice de Identificação dos Conjuntos Fuzzy

Os índices J e K identificando os intervalos numéricos de cada conjunto Fuzzy para I e F, representados nas Figuras 8 e 9, são calculados, conforme Bose (1996), por meio de um processo de linearização, resultando nas seguintes expressões:

$$J = \text{int}(100I + 1) \quad (15)$$

$$K = \text{int}(10F + 1) \quad (16)$$

Segundo Leithold (1977), $\text{int}(x)$ indica a função “maior inteiro”, definida por:

$$\text{int}(x) = n \text{ se } n \leq x < n + 1 \quad (16')$$

em cuja expressão, x e n são, respectivamente, números reais e inteiros quaisquer.

5.2.1.3 Grau de Pertinência

Na Teoria Fuzzy, a cada elemento x do intervalo onde está definido o conjunto Fuzzy, é intrínseco outro número denotado por $\mu(x)$, chamado grau de pertinência do elemento x, significando o valor verdade do elemento dentro do conjunto ao qual pertence. Esta definição mostra como se comporta a grandeza em relação ao intervalo considerado. Ressalta-se que o grau de pertinência é um número real pertencente ao intervalo fechado $[0,1]$. As Figuras 8 e 9 mostram que cada elemento I e cada elemento F pertencem, com seus respectivos significados, a dois conjuntos Fuzzy distintos simultaneamente, devido ao modo como foram construídos. Contudo, os graus de pertinência em relação a cada conjunto, somente são iguais quando o valor verdade em relação a um deles for 0,5. Tais graus de pertinência são simbolizados por μ e μ' , onde μ' é chamado de grau de pertinência complementar de μ . O grau de pertinência μ é determinado por meio do conjunto Fuzzy localizado mais à esquerda do elemento considerado, e μ' , conseqüentemente no conjunto localizado mais à direita.

Os graus de pertinência μ de cada elemento de I e F são, respectivamente, funções de J e K, sendo calculados pelas seguintes expressões:

$$\mu(I) = J - 100I \quad (17)$$

$$\mu(F) = K - 10F \quad (18)$$

5.2.1.4 Grau de Pertinência Complementar

O grau de pertinência complementar μ' na teoria Fuzzy é calculado pela expressão geral:

$$\mu' = 1 - \mu \quad (19)$$

Logo, para os elementos dos conjuntos Fuzzy de I e F, tem-se, respectivamente:

$$\mu'(I) = 1 - \mu(I) \quad (20)$$

$$\mu'(F) = 1 - \mu(F) \quad (21)$$

5.2.1.5 Regras Fuzzy

Calculados os graus de pertinência $\mu(I)$ e $\mu(F)$, bem como seus respectivos complementares $\mu'(I)$ e $\mu'(F)$, aplicam-se as regras Fuzzy.

Neste trabalho utiliza-se a regra da intersecção, a qual é modelada pela função mínimo (min), uma vez que o interesse está no “cruzamento” (intersecção) dos dois índices I e F, ou seja, o índice de utilização de energia elétrica e o fator de carga do horário de ponta. Aplicadas as regras aos graus de pertinência e seus complementares, tem-se:

$$\mu_{R_1} = \min\{\mu(I), \mu(F)\} \quad (22)$$

$$\mu_{R_2} = \min\{\mu(I), \mu'(F)\} \quad (23)$$

$$\mu_{R_3} = \min\{\mu'(I), \mu(F)\} \quad (24)$$

$$\mu_{R_4} = \min\{\mu'(I), \mu'(F)\} \quad (25)$$

5.2.1.6 Tabela Fuzzy

A Tabela Fuzzy, que representa o comportamento do uso da energia elétrica de uma UC, é construída analisando-se qual estrutura tarifária mais adequada, em função dos índices I, F e H que representa o fator de carga fora de ponta. Assim, qualquer condição desejada estará contemplada na Tabela Fuzzy do Quadro 4.

Quadro 4. Estrutura tarifária de uma UC, em função dos índices I, F e H.

H																
I F	MI	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Mx
MI	a ₁₋₁	a ₁₋₂	a ₁₋₃	a ₁₋₄	a ₁₋₅	a ₁₋₆	a ₁₋₇	a ₁₋₈	a ₁₋₉	a ₁₋₁₀	a ₁₋₁₁	a ₁₋₁₂	a ₁₋₁₃	a ₁₋₁₄	a ₁₋₁₅	a ₁₋₁₆
P1	a ₂₋₁	a ₂₋₂	a ₂₋₃	a ₂₋₄	a ₂₋₅	a ₂₋₆	a ₂₋₇	a ₂₋₈	a ₂₋₉	a ₂₋₁₀	a ₂₋₁₁	a ₂₋₁₂	a ₂₋₁₃	a ₂₋₁₄	a ₂₋₁₅	a ₂₋₁₆
P2	a ₃₋₁	a ₃₋₂	a ₃₋₃	a ₃₋₄	a ₃₋₅	a ₃₋₆	a ₃₋₇	a ₃₋₈	a ₃₋₉	a ₃₋₁₀	a ₃₋₁₁	a ₃₋₁₂	a ₃₋₁₃	a ₃₋₁₄	a ₃₋₁₅	a ₃₋₁₆
P3	a ₄₋₁	a ₄₋₂	a ₄₋₃	a ₄₋₄	a ₄₋₅	a ₄₋₆	a ₄₋₇	a ₄₋₈	a ₄₋₉	a ₄₋₁₀	a ₄₋₁₁	a ₄₋₁₂	a ₄₋₁₃	a ₄₋₁₄	a ₄₋₁₅	a ₄₋₁₆
P4	a ₅₋₁	a ₅₋₂	a ₅₋₃	a ₅₋₄	a ₅₋₅	a ₅₋₆	a ₅₋₇	a ₅₋₈	a ₅₋₉	a ₅₋₁₀	a ₅₋₁₁	a ₅₋₁₂	a ₅₋₁₃	a ₅₋₁₄	a ₅₋₁₅	a ₅₋₁₆
M	a ₆₋₁	a ₆₋₂	a ₆₋₃	a ₆₋₄	a ₆₋₅	a ₆₋₆	a ₆₋₇	a ₆₋₈	a ₆₋₉	a ₆₋₁₀	a ₆₋₁₁	a ₆₋₁₂	a ₆₋₁₃	a ₆₋₁₄	a ₆₋₁₅	a ₆₋₁₆
G1	a ₇₋₁	a ₇₋₂	a ₇₋₃	a ₇₋₄	a ₇₋₅	a ₇₋₆	a ₇₋₇	a ₇₋₈	a ₇₋₉	a ₇₋₁₀	a ₇₋₁₁	a ₇₋₁₂	a ₇₋₁₃	a ₇₋₁₄	a ₇₋₁₅	a ₇₋₁₆
G2	a ₈₋₁	a ₈₋₂	a ₈₋₃	a ₈₋₄	a ₈₋₅	a ₈₋₆	a ₈₋₇	a ₈₋₈	a ₈₋₉	a ₈₋₁₀	a ₈₋₁₁	a ₈₋₁₂	a ₈₋₁₃	a ₈₋₁₄	a ₈₋₁₅	a ₈₋₁₆
G3	a ₉₋₁	a ₉₋₂	a ₉₋₃	a ₉₋₄	a ₉₋₅	a ₉₋₆	a ₉₋₇	a ₉₋₈	a ₉₋₉	a ₉₋₁₀	a ₉₋₁₁	a ₉₋₁₂	a ₉₋₁₃	a ₉₋₁₄	a ₉₋₁₅	a ₉₋₁₆
G4	a ₁₀₋₁	a ₁₀₋₂	a ₁₀₋₃	a ₁₀₋₄	a ₁₀₋₅	a ₁₀₋₆	a ₁₀₋₇	a ₁₀₋₈	a ₁₀₋₉	a ₁₀₋₁₀	a ₁₀₋₁₁	a ₁₀₋₁₂	a ₁₀₋₁₃	a ₁₀₋₁₄	a ₁₀₋₁₅	a ₁₀₋₁₆
Mx	a ₁₁₋₁	a ₁₁₋₂	a ₁₁₋₃	a ₁₁₋₄	a ₁₁₋₅	a ₁₁₋₆	a ₁₁₋₇	a ₁₁₋₈	a ₁₁₋₉	a ₁₁₋₁₀	a ₁₁₋₁₁	a ₁₁₋₁₂	a ₁₁₋₁₃	a ₁₁₋₁₄	a ₁₁₋₁₅	a ₁₁₋₁₆

Nesta tabela de dupla entrada, cada elemento a_{k-j} é um conjunto Fuzzy, conforme Figura 10, ou seja, B (Tarifa Convencional), A (Tarifa Horo-Sazonal Azul) ou V

(Tarifa Horo-Sazonal Verde), podendo assumir qualquer um deles, conforme os valores de H, I e F. A Tabela 1 do item 6.2 mostra estas possibilidades.

5.2.1.7 Conjuntos Fuzzy para a Variável Estrutura Tarifária E

Construída a Tabela Fuzzy, determinam-se os conjuntos Fuzzy para a variável denominada de estrutura tarifária, simbolizada por E. O intervalo de variação para a variável E é [1; 3].

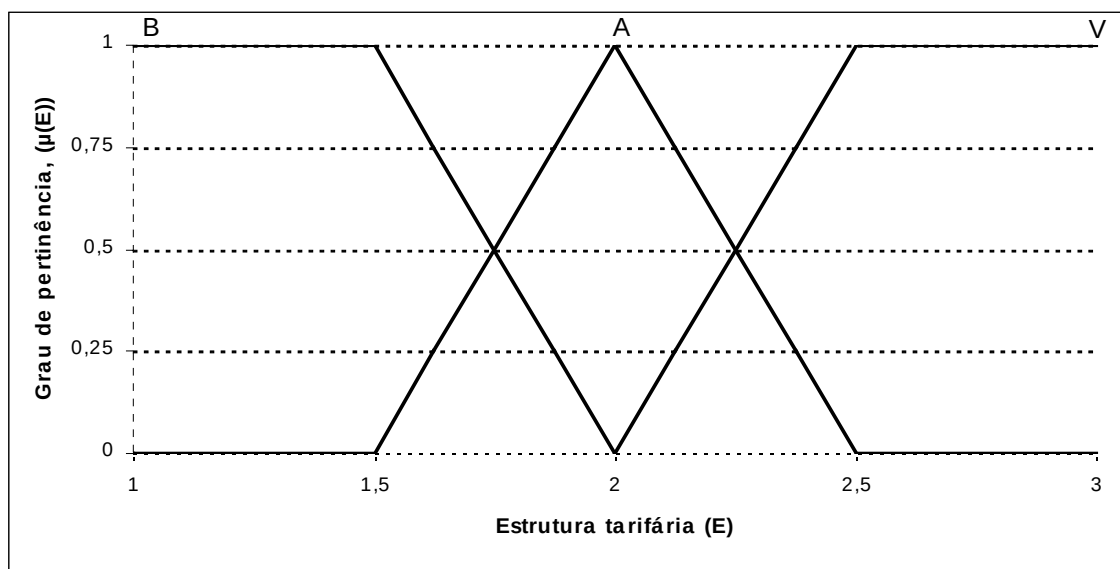


Figura 10. Conjuntos Fuzzy para a estrutura tarifária E

O Quadro 5 exibe a nomenclatura, símbolos e valores atribuídos aos conjuntos Fuzzy da estrutura tarifária E.

Quadro 5. Nomenclatura, símbolo e valores para os conjuntos Fuzzy de E.

Conjuntos Fuzzy para E	Significado	Valor
B	Estrutura tarifária convencional	1
A	Modalidade tarifária horo-sazonal azul (MTHSA)	2
V	Modalidade tarifária horo-sazonal verde (MTHSV)	3

Para a estrutura tarifária E, foram definidos três conjuntos Fuzzy, a saber: B, A e V, que representam a ETC, a MTHSA e a MTHSV, respectivamente. Cada um desses conjuntos recebe um valor numérico, chamado valor atribuído. Este representa uma estrutura tarifária conforme Quadro 5. Ressalta-se que para os modelos Fuzzy, quanto maior o número de conjuntos adotados, maior será o refinamento dos intervalos, e portanto, mais precisão na determinação daquilo que está sendo analisado. Porém deve-se evitar um número excessivo desses conjuntos, pois pode tornar o modelo desinteressante.

5.2.1.8 Determinação da Tarifa por Meio da Tabela Fuzzy

A determinação da estrutura tarifária E, correspondente a cada regra Fuzzy, é feita utilizando-se a Tabela Fuzzy do Quadro 4. Para cada H fixado e cada par ordenado (I, F), obtém-se o correspondente conjunto Fuzzy E, ao qual será atribuído um valor, conforme o Quadro 5. Os símbolos acompanhados do sinal (') representam o conjunto Fuzzy complementar. Tem-se:

$$t_1 = (I, F) \quad (26)$$

$$t_2 = (I, F') \quad (27)$$

$$t_3 = (I', F) \quad (28)$$

$$t_4 = (I', F') \quad (29)$$

5.2.1.9 Tarifa mais Conveniente

O cálculo da tarifa mais conveniente é feito usando-se o método do centro de massa para a Defuzzyficação. Com esta opção, tem-se:

$$E = \frac{\mu_{R_1} \cdot t_1 + \mu_{R_2} \cdot t_2 + \mu_{R_3} \cdot t_3 + \mu_{R_4} \cdot t_4}{\mu_{R_1} + \mu_{R_2} + \mu_{R_3} + \mu_{R_4}} \quad (30)$$

5.2.1.10 Índice de Identificação do Conjunto Fuzzy E

O índice L identificando os intervalos numéricos dos conjuntos Fuzzy E, é dado por:

$$L = \text{int}(2E - 1) \quad (31)$$

5.2.1.11 Grau de Pertinência de E

O grau de pertinência μ , de cada elemento E, é dado por:

$$\mu(E) = 2(1 - E) + L \quad (32)$$

5.2.1.12 Grau de Pertinência Complementar de E

O grau de pertinência complementar de cada elemento E é dado por:

$$\mu'(E) = 1 - \mu(E) \quad (33)$$

5.2.1.13 Discussão sobre a Tarifa mais Conveniente

Com os graus de pertinência dos itens 5.2.1.12 e 5.2.1.13 e o gráfico da Figura 10, opta-se pela tarifa mais conveniente, como sendo aquela cujo grau de pertinência é maior.

5.2.2 Modelo Preço Médio

As expressões do preço médio da energia elétrica, conforme Companhia Energética de São Paulo (1996), são dadas pelas fórmulas (12), (13) e (14).

5.2.3 Procedimento Estatístico

Considerando as demandas de potências máximas, estudou-se a aderência das distribuições de probabilidades gaussiana (normal) e gama aos dados coletados pelo analisador de energia (antes), e do relatório de curva de cargas (depois). Os resultados do teste Kolmogorov-Smirnov mostraram falta de aderência para ambas as distribuições. Neste sentido, não foram propostos estes modelos probabilísticos para a discussão das demandas máximas de potências.

Em vista destes resultados, optou-se por trocar o tratamento probabilístico gaussiano por procedimentos estatísticos descritivos, envolvendo a distribuição percentilar dos dados e medidas de posição e variabilidade complementadas com os testes estatísticos referentes às medianas (teste de Wilcoxon) e aos coeficientes de variação, conforme Zar (1999).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Enquadramento Tarifário Utilizando Teoria Fuzzy

O enquadramento tarifário de uma UC é função de sua demanda de potência e do seu consumo, ou de índices calculados, considerando-se os dois parâmetros elétricos citados. Este procedimento apesar de ter surgido na década de 80, com a criação da tarifa horo-sazonal com objetivos de deslocar cargas do horário de ponta e racionalizar o consumo de energia elétrica, ainda não atingiu todos os consumidores que podem usufruir da legislação específica sobre o assunto, para diminuir suas contas de energia elétrica e colaborar na racionalização de seu uso.

Para o modelo alternativo de enquadramento embasado na Teoria Fuzzy, foram adotados o índice de utilização de energia elétrica (I), o fator de carga do horário de ponta (F) e o fator de carga do horário fora de ponta (H).

Observou-se que, quando o modelo Fuzzy apresenta percentuais em torno de 50% para as duas tarifas em comparação, o modelo de Companhia Energética de São Paulo (1996) exibe valores em R\$/kWh próximos, necessitando de outras análises não contempladas pelos dois modelos.

O modelo Fuzzy construído prescinde dos preços de tarifas para realizar o enquadramento, entretanto não fornece a porcentagem de ganho com a possível migração de uma estrutura tarifária para outra, tarefa possível quando se utiliza cálculo de preços médios.

Com relação aos Gráficos de Manzine (2000), o modelo Fuzzy é mais abrangente, visto que contempla casos em que o enquadramento necessita do fator de carga do horário fora de ponta para ser realizado, fator este não considerado nos Gráficos citados.

Nas situações de enquadramento, em que é clara a decisão, o modelo Fuzzy fornece a informação atribuindo 100% e 0%, respectivamente, à melhor e à pior estrutura tarifária; a metodologia de preços médios fornece a mesma informação por meio de valores em R\$/kWh, e nos Gráficos, a informação é obtida pela simples observação visual.

Quando o enquadramento tarifário é feito pelo preço médio, com este sendo calculado dividindo-se o total em reais da nota fiscal de energia elétrica pelo consumo total, deve-se ressaltar a dificuldade para o cálculo dos preços médios para as três estruturas tarifárias. Pois, além da falta de dados na nota fiscal que contemplem as três estruturas tarifárias, nos anos 2001, 2002 e 2003, chegou-se a ter cinco preços de tarifas, além de incidências de novos impostos sobre consumidores ligados em alta tensão. Contudo, o preço médio assim calculado é bem próximo da realidade da UC em funcionamento, o que pode não ocorrer com o preço médio, conforme a formulação matemática usada neste trabalho. No estudo de caso levado a efeito, foram usados dados das notas fiscais de energia elétrica e do analisador de energia, tanto para o modelo Fuzzy como para o cálculo do preço médio.

No modelo Fuzzy foram usados 16 e 11 conjuntos Fuzzy para Fuzzyficação, respectivamente do índice de identificação e do fator de carga do horário de ponta. Estes números, conforme literatura sobre o assunto, são elevados, pois quanto mais conjuntos houver, mais difícil a construção e manipulação do modelo.

6.1.1 Estudo de Caso Simulando o Enquadramento Tarifário Utilizando-se as Metodologias Fuzzy e Preço Médio

No presente estudo de caso para enquadramento tarifário usando os modelos descritos nos itens 4.5.1.1 (preço médio), e 5.2.1 (modelo Fuzzy), sejam $I = 0,106$; $F = 0,72$ e $H = 0,421$, onde I é o índice de utilização, F é o fator de carga do horário de ponta e H é o fator de carga do horário fora de ponta.

Enquadramento usando o modelo Fuzzy

Grau de pertinência

$$J = \text{int}(100 \cdot 0,106 + 1) \Rightarrow J = 11$$

$$\mu(0,106) = 11 - 10,6 = 0,4 \Rightarrow \mu'(0,106) = 0,6$$

Conjunto Fuzzy mais à esquerda e mais à direita são, respectivamente, G_3 e G_4 .

$$K = \text{int}(10 \cdot 0,72 + 1) \Rightarrow K = 8$$

$$\mu(0,72) = 8 - 7,2 = 0,8 \Rightarrow \mu'(0,72) = 0,2$$

Conjuntos Fuzzy mais à esquerda e mais à direita, respectivamente G_2 e G_3 .

Regras Fuzzy

$$\mu_{R_1} = \min\{0,4; 0,8\} = 0,4$$

$$\mu_{R_2} = \min\{0,4; 0,2\} = 0,2$$

$$\mu_{R_3} = \min\{0,6; 0,8\} = 0,6$$

$$\mu_{R_4} = \min\{0,6; 0,2\} = 0,2$$

Resultados da Tabela Fuzzy

No caso presente, é usada a parte da Tabela 1 do item 6.2, onde $0,4 \leq H < 0,5$.

Tem-se:

$$t_1 = \{G3, G2\} = V = 3$$

$$t_2 = \{G3, G3\} = A = 2$$

$$t_3 = \{G4, G2\} = B = 1$$

$$t_4 = \{G4, G3\} = B = 1$$

Cálculo da melhor tarifa

$$E = \frac{3 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,2}{0,4 + 0,2 + 0,6 + 0,2} = 1,71$$

$$L = \text{int}(2 \cdot 1,71 - 1) = 2$$

$$\mu(1,71) = 2(1 - 1,71) + 2 = 0,58 \Rightarrow \mu'(1,71) = 0,42$$

Conjuntos Fuzzy mais à esquerda e mais à direita, respectivamente B e A

Assim a tarifa mais conveniente é a ETC, com 58%, contra a MTHSA, com 42%.

Enquadramento tarifário usando as fórmulas de preço médio do item 4.5.1.1 deste trabalho

O preço da tarifa de energia elétrica utilizado é o constante da Resolução 85/2004 da ANEEL.

Preço médio para MTHSA

$$P_m = R\$0,2238513135/\text{kWh}$$

Preço médio para MTHSV

$$P_m = \frac{9,38}{0,421 \cdot 730} + 0,106(0,84338 - 0,11502) + 0,11502$$

$$P_m = R\$0,222747098/\text{kWh}$$

Preço médio para ETC

$$P_m = \frac{16,25}{0,421 \cdot 730} + 0,16802$$

$$P_m = R\$0,22089476/\text{kWh}$$

Comparando-se os preços médios das três estruturas tarifárias, conclui-se que a ETC é a mais adequada financeiramente. As conclusões para os dois modelos coincidem.

6.2 Tabela Fuzzy

Com a Fuzzyficação das variáveis índice de utilização I e fator de carga do horário de ponta F, e posteriores simulações com o fator de carga do horário fora de ponta H, obteve-se a Tabela 1.

Tabela 1. Conjuntos Fuzzy para a tarifa E, considerando o fator de carga do horário fora de ponta H em intervalos de amplitude 0,1, e os conjuntos Fuzzy do índice I de utilização e do fator de carga do horário de ponta F das Figuras 8 e 9

0<H<0,1		(continua)														
F \ I	MI	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	MX
MI	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B
P1	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B
P2	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
P3	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
P4	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
M	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G1	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G2	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G3	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G4	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
MX	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B

0,1≤H<0,2		(continuação)														
F \ I	MI	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	MX
MI	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B
P1	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B
P2	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
P3	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
P4	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
M	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G1	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G2	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G3	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G4	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
MX	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B

0,2≤H<0,3			(continuação)													
F \ I	MI	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	MX
MI	A	A	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B
P1	A	A	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B
P2	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
P3	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
P4	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
M	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G1	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G2	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G3	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G4	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
MX	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B

0,3≤H<0,4			(continuação)													
F \ I	MI	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	MX
MI	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B
P1	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B
P2	A	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
P3	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
P4	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
M	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G1	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G2	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G3	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
G4	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
MX	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B

H=1,0		(conclusão)														
F \ I	MI	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	MX
MI	A	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B
P1	A	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B
P2	A	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
P3	A	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
P4	A	A	A	A	A	V	V	V	V	V	V	B	B	B	B	B
M	A	A	A	A	A	A	A	A	V	V	V	B	B	B	B	B
G1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B
G2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B
G3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B
G4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B
MX	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B

6.3 Análise dos Valores das Contas de Energia Elétrica, Referentes ao Período de Agosto de 2000 a Dezembro de 2003

Primeiramente, usando os valores constantes nas contas de energia elétrica referentes ao período de agosto de 2000 a dezembro de 2003, fornecidas pela Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL, fez-se uma análise para investigar se a UC considerada está usando de modo racional e planejado a energia elétrica consumida. Posteriormente, estudou-se a estrutura tarifária que é melhor financeiramente para a UC, aplicando-se a legislação tarifária sobre o fornecimento de energia elétrica que vigora atualmente, estudando-se ainda as possibilidades de essa UC deslocar cargas para o período fora de ponta do sistema elétrico, ou do horário de maior solicitação de cargas da UC.

Nas Tabelas 7 e 8 dos Apêndices 1 e 2, respectivamente, são apresentados dados referentes ao consumo (kWh) e fator de carga, demanda de potência (kW) contratada, demandas de potências registradas e faturadas e ainda valores de ultrapassagem (VU) da demanda contratada, para o período de agosto de 2000 a dezembro de 2003, conforme contas de energia elétrica, fornecidas pela CPFL e dados coletados pelo analisador de energia.

Usando-se dados constantes da Tabela 7, conclui-se que o fator de carga médio para o horário fora de ponta, com o qual a UC operou no intervalo de tempo em estudo é 0,1621, muito aquém da média nacional estimada em 0,331. Esta constatação mostra nitidamente a tendência de que o uso da energia elétrica na empresa pode ser melhorado.

Outra verificação com referência à Tabela 8 diz respeito às variações das demandas de potências mensais registradas. Elas indicam a possibilidade de alterações na maneira de consumir energia elétrica na UC durante o ano, possibilitando maior modulação na curva de carga.

Em fevereiro de 2003, tem início a vigência do contrato feito entre a UC e a CPFL, quando a demanda de potência contratada foi fixada em 195kW. Com esta demanda contratada, a UC pagou tarifa de ultrapassagem em 7 dos 11 meses estudados, sinalizando falta de conhecimento da legislação sobre o assunto, de planejamento e de controle do uso da energia elétrica consumida, penalizada com tarifa de ultrapassagem, cujo valor representa o triplo da tarifa normal, conforme Resolução 456/2000 da Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL. Este fato exige providências imediatas por parte da UC, não só para ter suas tarifas de energia elétrica normalizadas, mas porque racionalizar o uso da energia elétrica no momento atual da história, é questão de cidadania e visão moderna de gerir os recursos de uma empresa.

O fator de carga do horário de ponta é 0,44, valor este obtido por meio da Eq. (10) e valores constantes da Tabela 9 do Apêndice 3.

Há que se considerar que, no interior do local onde se acham instalados os equipamentos de medição, painéis de controle e transformadores, a UC tem instalado um banco de capacitores, cujo funcionamento não permite ônus com a cobrança de tarifas de excedentes de reativos no período estudado.

6.4 Análise da Viabilidade de se Instalar Controlador de Demanda

6.4.1 Análise das Demandas de Potências da UC

Como foi visto na análise anterior, existe tendência de se usar melhor ou até diminuir as cargas, pelas quais a UC vem pagando. Objetivando uma

análise detalhada da variação das demandas de potências utilizadas, foram coletados por um analisador de energia Microvip trifásico, dados de vários parâmetros elétricos na UC em 16 dias, divididos em dois períodos alternados de oito dias cada, e a integralização a cada 15 minutos. O resultado é mostrado na Tabela 9, do Apêndice 3, onde constam as demandas de potências máximas, utilizadas de segunda-feira a domingo.

Os dados constantes da Tabela 9 foram obtidos da seguinte maneira: Primeiramente, coletaram-se, em média, 15 dias de medidas elétricas de cada um dos três transformadores ligados ao medidor em estudo, em dois períodos intercalados de sete e oito dias, com integralização e registro dos parâmetros elétricos a cada 15 minutos. As medidas foram coletadas individualmente para cada transformador, porque não se dispunha de três analisadores de energia para a coleta simultânea dos três transformadores. Posteriormente, agruparam-se os dados por dia da semana de cada transformador, dos 15 dias de coletas. Em seguida, para cada dia da semana, em cada transformador e a cada integralização correspondente, foram escolhidas as potências máximas utilizadas. Finalmente, somaram-se essas potências máximas dos três transformadores, mantendo-se os horários das integralizações, para cada dia da semana, construindo-se assim um único quadro de potências solicitadas pela UC, no período considerado.

Outros parâmetros elétricos de muita importância para outras finalidades não foram colocados, visto que o objeto de interesse era o estudo da variação das demandas de potências.

Observando-se as potências demandadas durante as 24 horas do dia e dos sete dias da semana, verifica-se que:

- A UC tem as maiores solicitações de demandas, concentradas nos períodos compreendidos entre 7h15min e 11h, e 12h45min e 17h. No período das 11h e 12h a UC tem o horário de almoço, e as 17h, ocorre o final do turno de serviço, iniciando as operações normais, às 7h do dia seguinte.

- Chamam a atenção, as demandas de potência relativamente altas, requeridas em horários onde a linha de produção não está funcionando. Isto se explica, levando-se em consideração que a UC tem equipamentos que utilizam energia elétrica, funcionando 24h por dia, como câmara fria, silo, iluminação e galpões com aves poedeiras.
- Existe uma tendência muito forte de as maiores demandas se concentrarem no período de 14h15min a 16h30min, nos dias úteis. O motivo básico desta ocorrência é que normalmente neste horário entram em funcionamento os ventiladores dos silos de armazenamento.
- As menores demandas ocorrem entre 17h30min e 7h, período este em que a UC tem 75% de suas cargas desligadas. No horário de almoço, existe uma diminuição sensível do uso das cargas em relação às maiores demandas.
- No horário de ponta do sistema elétrico a UC, como foi dito anteriormente, está operando com uma demanda de 75% menor do que nos períodos de maior solicitação de cargas, podendo então ser considerado que estão sendo retiradas 75% das cargas usadas no horário de ponta.
- As terças-feiras apresentam na quase totalidade das demandas de potências, valores ligeiramente menores do que os outros dias úteis da semana, para o período das 7h às 17h. Isto se deve ao fato de que neste dia da semana a fábrica de ração não funciona.

6.4.2 Estudo Estatístico e Econômico da Viabilidade de Instalação do Controlador de Demanda

6.4.2.1 Estudo Estatístico

Com os dados constantes do Apêndice 5 e do Relatório de curva de carga, construiu-se a Tabela 2.

Tabela 2. Medidas descritivas das demandas máximas de potência(kW), coletadas com o analisador de energia e do relatório de curva de carga, e resultado do teste estatístico da comparação das etapas de avaliação

Medida descritiva	Etapas de avaliação		Resultados do teste estatístico (nível descritivo)
	Antes (valores do analisador de energia)	Depois (valores do relatório de curva de carga)	
Valor mínimo	13,0	30,0	P<0,01
1 ^o Quartil	18,0	39,5	
Mediana	38,5	48,0	
3 ^o Quartil	140,0	152,5	
Valor máximo	229,0	195,0	
Média	77,76	87,76	P<0,01
Desvio padrão	72,73	58,37	
Coef. de variação (%)	93,53	66,51	

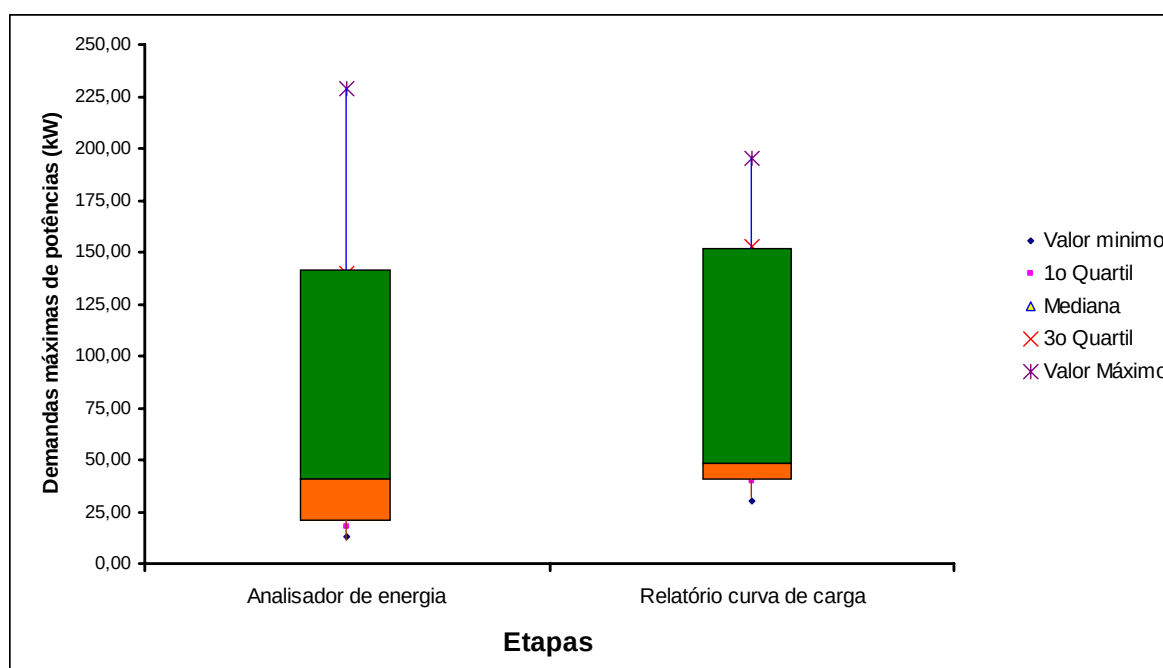


Figura 11. Box Plot das demandas máximas de potências (kW)

Os resultados da Tabela 2 mostram um aumento significativo da mediana ($P < 0,01$), e uma queda expressiva ($P < 0,01$) do coeficiente de variação dos dados.

O aumento considerável da mediana e a queda significativa do coeficiente de variação indicam um melhor aproveitamento das demandas solicitadas, isto é, uma racionalização do uso da energia elétrica consumida pela UC.

A distribuição percentilar da demanda máxima de potência, obtida a partir do relatório de curva de carga, indica o valor de 178 kW para o percentil 90 (P_{90}). Considerando que a legislação tarifária permite até 10% de ultrapassagem do valor da demanda contratada sem pagar taxa de ultrapassagem, a distribuição percentilar sugere, descritivamente, uma demanda contratada de 178 kW.

Há que se ressaltar, entretanto, que conforme análise dos dados do Apêndice 3 e da Figura 11, constata-se grande variabilidade das demandas de potência solicitadas, sugerindo falta completa no controle dessas demandas. Assim para a contratação de 178 kW de demanda de potência, se não houver planejamento e controle das demandas solicitadas, existe a tendência em pagar tarifa de ultrapassagem.

6.4.2.2 Estudo Econômico

A Tabela 11 do Apêndice 5 e a Figura 11 mostram a grande variação das demandas de potências solicitadas na UC estudada e, em decorrência, a dificuldade de controlá-las. Caso não exista o controle a UC corre riscos de pagar tarifas de ultrapassagens que chegam a três vezes a tarifa normal, ou no outro extremo, reprimir o uso da demanda contratada e assim pagar por algo que não está usando. Assim, é feita a análise econômica da instalação de um controlador de demanda na UC. Em tal estudo é aplicada a metodologia do valor anual equivalente e os dados para a análise constam da Tabela 3.

Tabela 3. Valores usados na análise econômica de instalação do controlador de demanda

Alteração do valor da demanda contratada	195 kW para 180kW
Valor da demanda em jun/04 (MTHSV) ⁽¹⁾	R\$8,04/kW
Valor da TJLP em jun/04	9,75%
Valor do Controlador de demanda em jun/04 ⁽²⁾	R\$ 7045,00
Vida útil estimada do controlador de demanda	10 anos
Valor cobrado para instalação ⁽³⁾	R\$ 3000,00

(1) Conforme Brasil (2004b).

(2) Fornecido pela empresa Engcomp Tecnologia em Automação e Controle Ltda, São Paulo, SP.

(3) Valor na região de Botucatu, estado de São Paulo.

A alteração do valor da demanda contratada gera uma receita anual de:

$$R = 8,04 \cdot 15 \cdot 12 = \text{R\$ } 1447,2$$

A instalação do controlador de demanda gera uma despesa de:

$$D = 10045 \cdot \left[\frac{(1,0975)^{10} \cdot 0,0975}{(1,0975)^{10} - 1} \right] = \text{R\$ } 1617,26$$

$$R - D = - \text{R\$ } 170,06$$

Como pode ser observado, financeiramente, o controle da demanda de potência com tal equipamento não é viável. Contudo, conforme Estremote et al. (2002), controlar as solicitações de demanda de potência manualmente durante o tempo de funcionamento da linha de produção é muito complexo, difícil e arriscado, pois um erro de gerenciamento nos equipamentos que utilizam energia elétrica da UC, pode ultrapassar o limite de 10% de tolerância na ultrapassagem permitido por lei. Por outro lado, a demanda de potência pode ser reprimida, por precauções excessivas, levando a UC a pagar por algo de que não está fazendo uso. Outro fator a ser considerado é o histórico do consumo de energia elétrica, descrito no item 6.3 deste trabalho. Estas considerações fazem com que um controlador de demanda mais confiável seja disponibilizado pela UC.

6.5 Análise da Viabilidade da Instalação de um Grupo Motor Gerador

A seguir, discute-se a viabilidade da instalação de um grupo motor gerador – GMG, usando óleo diesel, para suprir o consumo de energia elétrica no horário de ponta e em caso de falta.

Nos Apêndices 1 e 2 constam valores de consumo e demanda, praticados pela UC no período de ago/00 a dez/03, necessários para o cálculo dos importes nas três modalidades tarifárias, considerando-se ainda que para a MTHSA, a UC, conforme dados constantes no Apêndice 3, opera com apenas 25% das cargas usadas no horário de maior solicitação.

O horizonte de tempo para o projeto é de 15 anos, com TJLP = 10%, considerando-se o primeiro trimestre de 2004

6.5.1 Características Técnicas e Dados Gerais do GMG

As características técnicas e dados gerais do GMG, necessários à discussão da viabilidade, são dadas nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Características técnicas e custo do GMG

Grupo Motor Gerador	Condições Nominiais	Condições operacionais
Potência (Intermitente/Continua) ⁽¹⁾	288/260 kW	
Consumo de óleo diesel ⁽²⁾		32litros /h± 3litros
Consumo de lubrificante ⁽²⁾		0,00475 litro/h
Energia ativa gerada ⁽²⁾		138kWh / h
Vida útil para a primeira reforma ⁽²⁾	12000 h	
Custo unitário do GMG ⁽¹⁾	R\$105500,00	

(1) Dados fornecidos pela STEMAC (Ribeirão Preto, SP), em jan/2004

(2) Dados fornecidos pela UC

Tabela 5. Despesas e receitas usadas na análise

Custos/Receitas	Valor em Reais (R\$)
Custo do óleo diesel / litro ⁽¹⁾	1,24
Custo do lubrificante / litro ⁽¹⁾	3,70
Custo do óleo diesel + lubrificante / litro ⁽¹⁾	1,26
Custos operacionais ⁽²⁾	33714,20
Receita da energia ativa gerada ⁽³⁾	22623,78
Receita com a migração tarifária ⁽³⁾	10412,24
Receita com o valor residual ⁽⁴⁾	73850,00

(1) Valores praticados na região de Botucatu – SP, em janeiro de 2004

(2) Soma de 1% do valor do Grupo Motor Gerador, mais despesas com óleo diesel e lubrificante

(3) Valores praticados na UC, no ano de 2003

(4) Representa 70% do custo do GMG

6.5.2 Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa nos 15 anos do projeto é dado pela Tabela 6

Tabela 6. Fluxo de caixa para horizonte de tempo de 15 anos

Ano	Custos	Receitas
0	Compra GMG = R\$105500,00	Migração tarifária = R\$10412,24
	Custo Operacional = R\$32659,20	Energia gerada = R\$22623,78
1	Custo operacional = R\$32659,20	Migração tarifária = R\$10412,24
		Energia gerada = R\$22623,78
2	Custo operacional = R\$32659,20	Migração tarifária = R\$10412,24
		Energia gerada = R\$22623,78
⋮	⋮	⋮
15	Custo operacional = R\$32659,20	Migração tarifária = R\$10412,24
		Energia gerada = R\$22623,78
		Valor residual = R73850,00

6.5.3 Custo Anual Equivalente-CAE

6.5.3.1 Valor Presente Líquido Para o Custo - VPL_c

$$VPL_c = 138159,20 + 32659,20 \cdot \frac{(1,1)^{15} - 1}{(1,1)^{15} \cdot 0,1} \Rightarrow VPL_c = R\$386567,67$$

6.5.3.2 Custo Anual Equivalente - CAE

$$CAE = 386567,67 \cdot \frac{(1,1)^{15} \cdot 0,1}{(1,1)^{15} - 1} \Rightarrow CAE = R\$50823,51$$

6.5.4 Receita Anual Equivalente – RAE

6.5.4.1 Valor Presente Líquido para Receita - VPL_r

$$VPL_r = 33036,02 + 33036,02 \cdot \frac{(1,1)^{14} - 1}{(1,1)^{14} \cdot 0,1} + \frac{73850,00 + 33036,02}{(1,1)^{15}} \Rightarrow \\ \Rightarrow VPL_r = R\$301989,71$$

6.5.4.2 Receita Anual Equivalente-RAE

$$RAE = 301989,71 \cdot \left[\frac{(1 + 0,1)^{15} \cdot 0,1}{(1 + 0,1)^{15} - 1} \right] \Rightarrow RAE = R\$39703,73$$

6.5.5 Valor Anual Equivalente-VAE

$$VAE = RAE - CAE \Rightarrow VAE = -R\$11119,78$$

Conforme metodologia do VAE, com TJLP de 10% a.a, fica constatado que é economicamente inviável usar o gerador proposto nas condições indicadas. Ressalta-se, entretanto, que a literatura especializada sobre o assunto, Cartacho e Jannuzzi (1998), Figueiredo e Suppa (1998), Bombana (1999), Estremonte et al. (2002) e

Carvalho et al. (2003), mostra que é vantajoso gerar em condições adequadas, energia elétrica no horário de ponta por meio de GMG movido a óleo diesel. Porém Cartacho e Jannuzzi (1998) desaconselham a disseminação desta prática, visto ser o óleo diesel um insumo em cuja produção o país ainda não é auto-suficiente, é usado de modo intenso nos meios de transportes, além de causar problemas ambientais sérios.

7 CONCLUSÕES

O Modelo Fuzzy construído para o enquadramento tarifário de energia elétrica mostrou-se tão eficiente, quanto o modelo de preço médio.

No estudo de caso levado a efeito, o Modelo Fuzzy confirmou a possibilidade de migração tarifária obtida pelo modelo do preço médio.

A análise dos dados estatísticos comparando valores de demanda de potências máximas coletadas por um analisador de energia (antes), com os valores do relatório de curva de carga (depois), revelou uma diferença significativa no uso das demandas de potências solicitadas após a readequação no uso das cargas na UC.

A distribuição percentilar da demanda máxima de potência obtida a partir do relatório de curva de cargas, indicou um valor de 178kW. Este valor é menor do que 195 kW, valor contratado pela UC.

Análise feita para verificação da viabilidade de instalação de um controlador de demanda na UC revela a impossibilidade econômica de se instalar tal equipamento. Entretanto, diante do histórico do consumo de energia elétrica da UC, das

dificuldades de se controlar manualmente as solicitações de demandas de potências, do valor do equipamento se comparado às tarifas de ultrapassagens pagas pela UC e da segurança e benefícios que a instalação de tal equipamento proporciona, opta-se por sua instalação.

Considerando que a UC já possui um GMG, cálculos econômicos indicam que a diferença entre as receitas e as despesas é maior do que zero. Portanto, do ponto de vista estritamente econômico, o uso do GMG é recomendável. Entretanto, no caso de a UC não possuir o GMG, sua aquisição não se mostrou viável do ponto de vista econômico nos moldes como a UC consome energia elétrica.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, H.; JUNIOR, O. **Lógica difusa: aspectos práticos e aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Interciência , 1999. 192 p.

ANDRADE, M. T. O. **A influência da energia elétrica reativa no planejamento do setor elétrico e a necessidade de consolidação do período horário para avaliação do fator de potência das cargas**. 1993. 201 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica/Planejamento de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

ARRUDA, L. F.; DOMINGOS, M. M.; ALVES, T. M. M. Gerenciamento de cargas de consumidores de baixa renda. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 290, p. 154-158, 1998.

BELLINI, A.; NEVES, B. S. Técnicas de racionalização do uso de energia elétrica na indústria laticinista. Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 1986. 20 p.

BENJAMIN, C. Descaminhos do setor elétrico, ou hospício Brasil. [6 apr. 2004]. Disponível em : <<http://www.rebelion.or/brasil/040406benjamin.htm>>. Acesso em 4 ago. 2004.

BIONDI NETO, L.; CHIGANER, L. Sistema especialista fuzzy no diagnóstico de falhas em transformadores. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, p. 158-69, 2000.

BITU, R.; BORN, P. **Tarifas de energia elétrica**: aspectos conceituais e metodológicos. São Paulo: MM Editora, 1993. 173 p.

BOMBANA, C. Grupo OESP adota geração na ponta e, de quebra, garante-se contra os blecautes. **Revista de Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 305, p. 68-73, 1999.

BOSE, B. K. Expert system, fuzzy logic, and neural networks in power electronics and drives. In: **Power electronics and variable frequency drives**. New Jersey: IEEE Press, 1996. p. 559-627.

BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Portaria n. 244, 14 dez. 1989. Os concessionários ficam obrigados a conceder descontos de 10,00% nas tarifas de consumo e demanda, relativas aos fornecimentos para unidades consumidoras classificadas como Rural, de acordo com o disposto na Portaria n. 222, de 22 de dezembro de 1987, atendidas e faturadas em alta tensão. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, DF, Brasília. v. 0, n. 0, p.23260, Seção 1. 1989.

BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Portaria n. 085, 25 mar. 1992. Estabelece o fator de potência de referência, indutivo ou capacitivo, de que trata o parág. 1º do art. 7º do Decreto 62724 de 17 maio 1968, com redação dada pelo Decreto 479 de 20 mar. 1992, determinando o valor do mínimo permitido para as instalações elétricas das unidade consumidoras e revoga o art. 17, parág. 1º e 2º da Portaria DNAEE 033 de 11 fev. 1988 e os arts. 29 e 48 com seu parágrafo único, da Portaria DNAEE 222 de 22 dez. 1987. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, p?.1992.

BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Portaria n. 176, 29 mar. 1993 . Define os critérios para operacionalização da nova sistemática de tarifas para os Serviços Públicos de Energia Elétrica. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, p. 4071. Seção 1. 1993.

BRASIL. Presidência da República. Lei n. 9427, 26 dez.. 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime de concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. P. ?. 1996.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica . Resolução n. 456, 29 nov. 2000. Estabelece, de forma atualizada e consolida, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, v. 138, 230-E, p.35, Seção 1. 2000a.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 88, 6 abr. 2000. Homologa as Tarifas de Fornecimento e Suprimento de Energia Elétrica para a Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, v. 138, n. 68-E, p.35, Seção 1. 2000b.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 130, 5 de abril de 2001. Homologa o reajuste das tarifas de fornecimento de energia elétrica da Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, v. 139, n. 68-E, p.165, Seção 1. 2001.

BRASIL. Presidência da República. Lei n. 10438, 26 abr. 2002. Dispões sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial , recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9648, de 27 de maio de 1998, nº 3890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5655, de 20 de maio de 1971, nº 5899, de 5 de julho de 1973, nº 9991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, v. 139, n. 81-A, p.1, Seção 1. 2002a.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 185, 4 abr. 2002. Homologa as tarifas de fornecimento de energia elétrica , fixa os valores da Taxa de Fiscalização dos Serviços de Energia Elétrica – TFSEE e estabelece a receita anual de instalações de conexão, referentes à Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, p. ?. 2002b.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 223, 29 abr. 2003. Estabelece as condições gerais para elaboração dos Planos de Universalização de Energia Elétrica visando ao atendimento de novas unidades consumidoras ou aumento de carga, regulamentando o disposto nos arts. 14 e 15 da Lei nº 10438, de 26 abr. 2002, e fixa as responsabilidades das concessionárias e permissionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, v. 140, n. 82, p.154, Seção 1. 2003a.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 166, 7 abr. 2003. Estabelece os resultados da primeira revisão tarifária periódica da Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, v. 71, p.105-08. 2003b.

BRASIL. Presidência da República. Lei n. 10848, 15 mar. 2004. Dispõe sobre comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5655, 20 maio 1971, 8631, 4 mar. 1993, 9074, 7 jul. 1995, 9427, 26 dez. 1996, 9478, 6 ago. 1997, 9648, 27 maio 1998, 9991, 24 jul. 2000, 10438, 26 abr 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. P. ?. 2004a.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 85, 7 abr. 2004. Estabelece os resultados da primeira revisão tarifária periódica da Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, v. 141, n. 78 p.122-27. 2004b.

CAMPANI, D. B. O papel do engenheiro no planejamento energético do meio rural. In: XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Bauru, jul. 1996.

CARTACHO, E. F.; JANNUZZI, G. M. **Análise técnica e econômica de um sistema de distribuição de energia elétrica híbrido – solar-diesel: um estudo de caso.** [1998].

Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~Jannuzzi/Artigos/ld31.htm>>. Acesso em: 20 out. 2003.

CARVALHO, C. E. et al. Diagnostico e gestão energética em indústrias de pequeno e médio porte. **Revista de Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 357, p. 146-157, 2003.

CARVALHO, J. **O desafio do planejamento energético.** Porto Alegre: Editora Tchê, 1987. 112 p.

COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas horo-sazonais azul e verde:** manual de orientação ao consumidor. 3. ed. Rio de Janeiro, 1995. 26 p.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO. **Manual de tarifa azul e tarifa verde.** São Paulo, 1996. 18 p.

CONSUMO de energia: crises esfriam o ânimo do mercado. **Revista de Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 304, p. 158-168, jul. 1999.

CRUZ, L. F. **Sistematizações da teoria fuzzy**. 1996. 72 p. Dissertação (Mestre em Matemática/Fundamentos da Matemática) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

CRUZ, L. F. **Modelo fuzzy para obtenção do tempo de aeração em silos verticais visando reduzir o consumo de energia elétrica**. 2001. 98 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

DÓRIA, R. J.; ANDRADE, M. S. P. O planejamento e a metodologia de implantação da tarifa amarela na Copel. **Revista de Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 290, p. 132-145, 1998.

ESTREMOTE, M. A.; FACCENDA, O.; SANTOS, E. S. Análise das tarifas de energia elétrica diferenciadas. **Revista de Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 342, p. 42-53, 2002.

FACCENDA, O. **Cogeração e geração independente na indústria sucroalcooleira**. 1997. 140 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

FACCENDA, O.; SOUZA, L.G. A cogeração como alternativa no equacionamento da demanda de energia elétrica. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 33-45, 1997.

FEITOSA, H. A. **Princípios fundamentais da teoria fuzzy**. 1992. 89 p. Dissertação (Mestre em Matemática/Fundamentos da Matemática) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

FIGUEIREDO, R.; SUPPA, M. R. Sistema Inteligente para controle de grupos geradores. **Revista de Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 295, p. 96-106, 1998.

GABRIEL, L. R. A. **Análise da racionalização do uso de energia elétrica através de hiperbolóides de carga e potência em operações de processamento de arroz (ORYZA SATIVA,L).** 1994. 280 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

GABRIEL, L. R. A. et al. Um controlador fuzzy para a racionalização de energia elétrica via Ap-hiperbolóide de carga e potência. In: II SINERGIA – FCA/UNESP, BOTUCATU, 2000.

GANIM, A. **Setor elétrico brasileiro:** aspectos regulamentares e tributários. Rio de Janeiro: Editora Canalenergia, 2003. 255 p.

GODINHO, M. **Considerações sobre a racionalização do uso da energia elétrica em três atividades agroindustriais.** 1987. 171 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1987.

GOLDEMBERG, J. O futuro energético desejável para o Brasil. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, p. 38-49, jul. 2000. Fórum de Líderes, p. 38-49.

GOUVÊA JUNIOR, M. M. **Sistema híbrido neuro – fuzzy aplicado ao problema do fluxo ótimo de potência reativa.** 1998. 135 p. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.

GOUVELLO, C. **As crises energéticas rurais:** percebendo a diversidade e entendendo a emergência. Rio de Janeiro: Setor de Comunicação da Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1995. 86 p.

HADDAD, J. **Uma contribuição à análise de conservação de energia elétrica utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy**. 1993. 210 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica/Planejamento de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

JABUR, M. A. Gasto de R\$200 mil para reduzir perda de energia. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, p. C1, maio 1998.

JANNUZZI, G. M. **Planejando o consumo de energia elétrica através de programas de difusão de tecnologias mais eficientes**. [9 dez. 1995]. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~Jannuzzi/cbeproj.htm>. Acesso em: 30 jan. 2004.

KLIR, G. J. ; YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 574 p.

KLÖTZLE, M. C.; BIAGINI, F.L. **A reestruturação do sector eléctrico brasileiro: uma análise comparativa com a Califórnia**. [jan. 2002]. Disponível em: <http://www.fep.up.pt/investigação/workingpapers/wp115.pdf>. Acesso em: 12 de fev. 2004.

LEITE, A. D. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997. 528 p.

LEITHOLD, L. **O cálculo com geometria analítica**. São Paulo : Editora Harper&Row do Brasil, 1977. 526 p. vol.1.

LIMA, A. C. **Sistema decisório fuzzy aplicado ao gerenciamento de energia elétrica no lado da demanda**. 2003. 145 p. Dissertação(Mestrado em Ciências) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

LOPES, A.; LISBOA, M. L. V. O projeto de eficiência energética da Eletrobrás/Procel com recursos do Banco Mundial e GEF. In: XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 21-26 out. 2001, Campinas.

MANUAL prático do fator de carga. **Mundo Elétrico**, São Paulo, n. 271, p. 36-39, abr. 1982.

MANZINE, L. G. **Racionalização de energia elétrica com aplicação da legislação tarifária em indústria de embalagem plástica**. 2000. 90 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

MENDONÇA, F. C.; PESSOA, P. C. S.; BOTREL, T. A. Considerações sobre o consumo de energia e tarifação de energia elétrica na atividade de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa. Resumos. Viçosa, 1995, p.287.

NGUYEN, H. T.; WALKER, E. A. **A first course in fuzzy logic**. 2nd ed. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 1999. 373 p.

OLIVEIRA FILHO, D.; TANABE, C. S.; COSTA, J. M. Consideração da análise exergética em tarifas de energia elétrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 114-119, 2000.

ORTEGA, N. R. S. **Aplicação da teoria de conjuntos fuzzy a problemas da biomedicina**. 2001. 152 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

PAZZINI, L. H. A. Universalização do atendimento de energia elétrica em áreas rurais: perspectivas do Brasil. In: Conferência Latino-americana de Eletrificação Rural, San José, abr. 2001.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **An introduction to fuzzy sets: analysis and design**. Massachusetts: MIT Press, 1998. 465 p.

PORTO, L. G. C. **Análise da tarifa horo-sazonal no uso da energia elétrica em uma agroindústria.** 1991. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.

REZNIK, L. **Fuzzy controllers.** Oxford: Newnes, 1997. 287 p.

RIBACIONKA, F. **Sistemas computacionais baseados em lógica fuzzy.** 1999. 103 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica/Engenharia da Computação) – Universidade Mackenzie, São Paulo, 1999.

RIBEIRO, F. S.; PELEGRINI, M. A.; UDAETA, M. E. Planejamento integrado de recursos energéticos na eletrificação rural. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL – AGRENER, 3., 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2000. CD-Rom.

RIBEIRO, F. S. A eletrificação rural ao alcance de todos. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (Org.) **Tecnologia e aplicação de energia elétrica e de fontes renováveis na agricultura.** Campina Grande: Editora da Universidade Federal da Paraíba, 1997. p. 1-29.

RISCO de déficit: situação delicada para este ano e o próximo. **Revista de Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 304, p. 188-96, jul. 1999.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado dos Negócios da Fazenda. Decreto n. 45490/2000, artigo 29, inciso I, do anexo I. Isenção do ICMS no consumo de energia elétrica. Diário Oficial [do] Estado de São Paulo, São Paulo, 01 12 2000.

SERAPHIM, O. J.; TEIXEIRA, N. M. Conservação e racionalização de energia elétrica no meio rural. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (Org.) **Tecnologia e aplicação de energia elétrica e de fontes renováveis na agricultura.** Campina Grande: Editora da Universidade Federal da Paraíba, 1997. p. 31-74.

SIMÕES, M. G. ; FRANCESCHETTI, N. N. ; BOSE, B. K. Otimização de um sistema de geração de energia eólica através de controle fuzzy. **Controle & Automação**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 48-58, jan./abr. 1999.

SOARES, L. A. E.; BRAGA, A. P. Redes neurais artificiais e sua aplicação em sistemas elétricos. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, p.172-9, 2001.

TEIXEIRA, N. M. **Determinação da capacidade liberada de energia após correção do fator de potência pelo n-Hiperbolóide**. 1999. 101 p. Tese (Livre-Docência em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

THOMAS, R.; KLÖCKNER, R. Orientações para aplicação do gerenciamento de cargas em indústrias. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 288, p. 95-98, 1998.

UM CHOQUE elétrico. **Veja**, São Paulo, 16 jun. 1999. Economia e Negócios, p. 318.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, New York, v. 8, p. 338-353, 1965.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 993 p.

APÊNDICE

APÊNDICE 1

Tabela 7. Dados de consumo, fator de carga da UC e índice de utilização de energia elétrica, no período ago/00 a dez/03

(continua)

Mês/Ano	Consumo (kWh)			Fator de carga			Índice de utilização-I
		Horário			Horário		
	Total	Fora de ponta	Ponta	Geral	Fora de ponta	Ponta	
ago./00	21000	19656,9	1343,1	0,1555	0,1600	0,44	0,0640
set./00	24000	22584,3	1415,7	0,1686	0,1744	0,44	0,0590
out./00	21500	20048,0	1452,0	0,1473	0,1510	0,44	0,0675
nov./00	23000	21620,6	1379,4	0,1658	0,1714	0,44	0,0600
dez./00	22000	20548,0	1452,0	0,1507	0,1547	0,44	0,0660
jan./01	23000	21620,6	1379,4	0,1658	0,1714	0,44	0,0600
fev./01	24000	22656,9	1343,1	0,1777	0,1844	0,44	0,0560
mar./01	21500	20193,2	1306,8	0,1636	0,1690	0,44	0,0608
abr./01	25000	23548,0	1452,0	0,1712	0,1773	0,44	0,0581
maio/01	28500	26939,1	1560,9	0,1816	0,1887	0,44	0,0548
jun./01	26000	24330,2	1669,8	0,1549	0,1593	0,44	0,0642
jul./01	23500	21975,4	1524,6	0,1533	0,1576	0,44	0,0649
ago./01	20500	19048,0	1452,0	0,1404	0,1434	0,44	0,0708
set./01	20500	19193,2	1306,8	0,1560	0,1606	0,44	0,0637
out./01	12500	11120,6	1379,4	0,0901	0,0881	0,44	0,1104
nov./01	18500	17156,9	1343,1	0,1370	0,1397	0,44	0,0726
dez./01	15500	14338,4	1161,6	0,1327	0,1350	0,44	0,0749
jan./02	22000	20838,4	1161,6	0,1884	0,1961	0,44	0,0528
fev./02	20500	19265,8	1234,2	0,1652	0,1707	0,44	0,0602
mar./02	19000	17729,5	1270,5	0,1487	0,1526	0,44	0,0669
abr./02	21000	19656,9	1343,1	0,1555	0,1600	0,44	0,0640
maio/02	24500	22975,4	1524,6	0,1598	0,1648	0,44	0,0622
jun./02	25500	24048,0	1452,0	0,1747	0,1811	0,44	0,0569

Tabela 7. Dados de consumo, fator de carga da UC e índice de utilização de energia elétrica, no período ago/00 a dez/03

(conclusão)

Mês/Ano	Consumo (kWh)			Fator de carga			Índice de utilização-I
		Horário			Horário		
	Total	Fora de ponta	Ponta	Geral	Fora de ponta	Ponta	
jul/02	22000	20656,9	1343,1	0,1629	0,1682	0,44	0,0611
ago/02	23000	21439,1	1560,9	0,1465	0,1502	0,44	0,0679
set/02	21500	20120,6	1379,4	0,1550	0,1595	0,44	0,0642
out/02	20500	19011,7	1488,3	0,1370	0,1397	0,44	0,0726
nov/02	22000	20548,0	1452,0	0,1507	0,1547	0,44	0,0660
dez/02	19500	18120,6	1379,4	0,1406	0,1436	0,44	0,0707
jan/03	23000	21548,0	1452,0	0,1575	0,1623	0,44	0,0631
fev/03	26500	25048,0	1452,0	0,1815	0,1886	0,44	0,0548
mar/03	24500	23048,0	1452,0	0,1678	0,1736	0,44	0,0593
abr/03	24000	22475,4	1524,6	0,1566	0,1612	0,44	0,0635
maio/03	37000	35221,3	1778,7	0,2069	0,2165	0,44	0,0481
jun/03	25500	23830,2	1669,8	0,1519	0,1560	0,44	0,0655
jul/03	27000	25257,6	1742,4	0,1541	0,1585	0,44	0,0645
ago/03	28500	26721,3	1778,7	0,1594	0,1643	0,44	0,0624
set/03	24000	22439,1	1560,9	0,1529	0,1572	0,44	0,0650
out/03	27500	25793,9	1706,1	0,1603	0,1653	0,44	0,0620
nov/03	24000	22402,8	1597,2	0,1494	0,1534	0,44	0,0666
dez/03	25000	23402,8	1597,2	0,1557	0,1602	0,44	0,0639

Fonte: Contas de energia elétrica fornecidas pela Companhia Paulista de Força e Luz-CPFL, e dados coletados por um analisador de energia.

APÊNDICE 2

Tabela 8. Demanda de potência contratada, demandas de potências registradas e faturadas e valores de ultrapassagem (VU) da demanda contratada, referentes ao período de ago/00 a dez/03

(continua)

Mês/Ano	Demanda contratada(kW)	Demanda registrada(kW)		Demanda faturada(kW)	VU(kW)
		Horário			
		Ponta	Fora de ponta		
ago/00	0,00	46,25	185,00	185,00	0,00
set/00	0,00	48,75	195,00	195,00	0,00
out/00	0,00	50,00	200,00	200,00	0,00
nov/00	0,00	47,50	190,00	190,00	0,00
dez/00	0,00	50,00	200,00	200,00	0,00
jan/01	0,00	47,50	190,00	190,00	0,00
fev/01	0,00	46,25	185,00	185,00	0,00
mar/01	0,00	45,00	180,00	180,00	0,00
abr/01	0,00	50,00	200,00	200,00	0,00
mai/01	0,00	53,75	215,00	215,00	0,00
jun/01	0,00	57,50	230,00	230,00	0,00
jul/01	0,00	52,50	210,00	210,00	0,00
ago/01	0,00	50,00	200,00	200,00	0,00
set/01	0,00	45,00	180,00	180,00	0,00
out/01	0,00	47,50	190,00	190,00	0,00
nov/01	0,00	46,25	185,00	185,00	0,00
dez/01	0,00	40,00	160,00	160,00	0,00
jan/02	0,00	40,00	160,00	160,00	0,00
fev/02	0,00	42,50	170,00	170,00	0,00
mar/02	0,00	43,75	175,00	175,00	0,00
abr/02	0,00	46,25	185,00	185,00	0,00
mai/02	0,00	52,50	210,00	210,00	0,00
jun/02	0,00	50,00	200,00	200,00	0,00
jul/02	0,00	50,00	200,00	200,00	0,00
ago/02	0,00	53,75	215,00	215,00	0,00

Tabela 8. Demanda de potência contratada, demandas de potências registradas e faturadas e valores de ultrapassagem (VU) da demanda contratada, referentes ao período de ago/00 a dez/03

(conclusão)

Mês/Ano	Demanda contratada(kW)	Demanda registrada(kW)		Demanda faturada(kW)	VU(kW)
		Horário			
		Ponta	Fora de ponta		
set/02	0,00	47,50	190,00	190,00	0,00
out/02	0,00	51,25	205,00	205,00	0,00
nov/02	0,00	50,00	200,00	200,00	0,00
dez/02	0,00	47,50	190,00	190,00	0,00
jan/03	0,00	50,00	200,00	200,00	0,00
fev/03	195,00	50,00	200,00	200,00	0,00
mar/03	195,00	50,00	200,00	200,00	0,00
abr/03	195,00	52,50	210,00	210,00	0,00
maio/03	195,00	61,25	245,00	245,00	245,00 ⁽¹⁾
jun/03	195,00	57,50	230,00	230,00	230,00 ⁽¹⁾
jul/03	195,00	60,00	240,00	240,00	45,00
ago/03	195,00	61,25	245,00	245,00	50,00
set/03	195,00	53,75	215,00	215,00	0,00
out/03	195,00	58,75	235,00	235,00	40,00
nov/03	195,00	55,00	220,00	220,00	25,00
dez/03	195,00	55,00	220,00	220,00	25,00

Fontes: Notas fiscais fornecidas pela Companhia Paulista de Força e Luz-CPFL e dados coletados por um integralizador de energia

¹ Valores de ultrapassagens cobrados integralmente, de acordo com a Resolução 456/2000 da ANEEL, devido ao atraso da UC na entrega do contrato de fornecimento de energia elétrica firmado entre a UC e a CPFL.

APÊNDICE 3

Tabela 9. Valores de demandas de potências máximas da UC, coletados no período de 13/05/03 a 26/06/03

(continua)

Horário	2ª-feira	3ª-feira	4ª-feira	5ª-feira	6ª-feira	sáb.	dom.
00:00:00	14,646	59,701	13,968	13,597	12,751	14,252	13,338
00:15:00	13,872	33,017	14,071	13,188	13,467	13,814	12,951
00:30:00	13,523	27,058	12,355	12,698	12,450	12,157	12,930
00:45:00	13,296	28,089	13,640	13,254	13,788	13,400	13,082
01:00:00	13,865	28,504	13,989	13,312	12,985	14,282	12,256
01:15:00	14,314	28,849	14,644	13,332	13,275	13,736	12,870
01:30:00	13,852	32,401	13,503	12,802	13,856	12,821	12,576
01:45:00	13,244	31,725	13,168	13,292	13,012	13,514	12,438
02:00:00	13,410	28,756	13,805	13,344	12,742	13,888	12,578
02:15:00	13,072	43,067	14,120	13,090	13,493	13,528	13,642
02:30:00	12,155	49,279	12,884	13,222	13,958	13,651	12,426
02:45:00	12,440	51,512	13,363	13,007	13,014	13,069	12,390
03:00:00	13,548	54,694	14,121	12,619	12,870	13,065	13,572
03:15:00	14,080	52,997	13,655	12,845	13,741	13,418	12,392
03:30:00	14,014	48,631	12,425	13,519	13,717	13,445	11,484
03:45:00	14,436	48,295	15,306	14,627	14,561	14,555	11,901
04:00:00	23,140	61,485	24,128	23,509	23,073	24,010	13,176
04:15:00	23,604	64,981	24,293	23,440	23,370	23,308	12,826
04:30:00	23,781	59,341	23,925	22,963	22,409	22,958	12,528
04:45:00	23,479	63,170	23,024	22,756	23,733	23,916	11,596
05:00:00	23,294	47,970	23,622	23,138	23,994	23,970	12,403
05:15:00	23,582	47,110	23,368	24,505	22,994	23,004	12,728
05:30:00	23,935	45,543	24,719	24,638	23,257	23,657	11,760
05:45:00	24,768	38,886	25,114	23,142	24,589	24,479	11,253
06:00:00	24,330	39,337	24,958	24,094	25,430	23,913	13,152
06:15:00	23,664	38,968	24,511	25,039	24,003	23,287	15,006
06:30:00	24,267	37,777	25,135	22,860	21,437	25,040	13,502
06:45:00	25,656	38,136	25,266	21,845	21,778	21,757	11,206
07:00:00	14,769	29,438	17,612	12,141	13,543	13,169	9,420
07:15:00	39,232	45,585	41,885	29,873	36,362	30,451	9,998
07:30:00	60,105	40,739	56,699	32,827	47,752	51,337	10,507
07:45:00	100,760	46,357	72,961	50,746	102,468	62,004	9,953
08:00:00	111,360	44,479	114,506	59,668	102,998	59,651	9,042
08:15:00	114,272	42,439	142,445	59,077	112,717	56,774	9,884
08:30:00	124,822	41,874	148,264	58,007	114,465	47,415	9,838
08:45:00	139,767	49,649	149,595	58,515	113,390	48,091	8,127
09:00:00	130,486	43,584	153,186	54,045	128,706	56,712	7,434

Tabela 9. Valores de demandas de potências máximas da UC, coletados no período de 13/05/03 a 26/06/03.

(continuação)							
Horário	2ª-feira	3ª-feira	4ª-feira	5ª-feira	6ª-feira	sáb.	dom.
09:15:00	123,783	28,477	155,216	47,947	132,061	62,785	8,24
09:30:00	134,409	34,977	135,109	50,723	127,591	56,714	7,406
09:45:00	144,310	32,100	148,296	50,991	126,233	53,068	8,032
10:00:00	163,975	32,673	141,775	56,487	133,482	50,417	7,828
10:15:00	174,430	36,380	201,861	57,199	168,301	54,057	8,030
10:30:00	181,874	31,973	204,714	62,210	183,259	54,167	8,474
10:45:00	194,160	48,512	204,000	60,122	179,785	52,604	9,806
11:00:00	131,546	42,441	145,990	51,561	159,569	37,976	6,962
11:15:00	13,098	13,068	47,973	37,528	16,753	28,352	6,177
11:30:00	78,063	15,786	48,584	37,199	14,161	16,330	7,566
11:45:00	63,780	29,016	44,295	36,289	14,142	51,497	12,698
12:00:00	30,737	32,828	55,545	38,483	16,729	55,003	7,072
12:15:00	42,341	32,918	79,509	81,435	40,474	59,122	6,886
12:30:00	46,325	34,150	78,720	87,825	63,925	62,492	9,176
12:45:00	76,858	38,841	104,032	89,115	73,039	59,720	9,952
13:00:00	81,712	37,466	99,868	84,260	74,815	57,132	13,778
13:15:00	109,128	33,648	100,091	100,587	87,928	57,332	16,886
13:30:00	110,535	34,558	137,715	118,539	121,221	56,119	7,576
13:45:00	130,609	32,202	153,512	109,475	130,708	54,874	7,996
14:00:00	141,646	36,257	162,101	143,207	144,874	56,648	7,659
14:15:00	198,173	39,199	188,552	136,886	160,238	60,081	6,956
14:30:00	215,522	34,094	184,758	131,163	164,592	60,994	7,405
14:45:00	222,297	38,365	177,700	110,236	165,232	54,314	7,287
15:00:00	222,458	37,102	180,951	97,021	197,363	53,184	8,503
15:15:00	225,055	49,132	176,684	97,342	195,840	54,154	8,750
15:30:00	219,622	93,679	196,764	84,592	194,819	46,700	13,078
15:45:00	177,693	56,147	224,059	77,498	194,601	48,961	11,429
16:00:00	159,268	49,922	219,581	68,638	194,423	15,278	12,926
16:15:00	175,845	90,747	228,530	62,892	202,804	12,731	9,879
16:30:00	172,812	88,069	195,045	66,331	208,932	16,017	14,616
16:45:00	134,171	82,360	173,660	52,515	181,940	16,323	17,874
17:00:00	121,802	49,373	136,458	38,659	119,437	20,905	13,702
17:15:00	117,787	23,863	115,460	37,351	118,150	24,697	16,038
17:30:00	79,630	30,474	41,450	50,820	98,830	26,585	17,948
17:45:00	28,630	27,532	27,049	55,210	23,655	33,090	24,720
18:00:00	27,120	30,380	30,800	55,050	28,980	26,670	24,996

Tabela 9. Valores de demandas de potências máximas da UC, coletados no período de 13/05/03 a 26/06/03.

(conclusão)							
Horário	2ª-feira	3ª-feira	4ª-feira	5ª-feira	6ª-feira	sáb.	dom.
18:15:00	32,050	29,750	28,790	52,180	35,590	31,140	28,910
18:30:00	35,100	35,010	30,480	54,600	32,720	34,030	26,440
18:45:00	33,550	39,290	31,610	56,350	31,430	30,950	33,800
19:00:00	28,540	34,520	34,470	43,460	33,160	29,830	29,880
19:15:00	31,410	33,860	35,150	28,800	32,060	29,210	27,930
19:30:00	27,270	27,785	32,120	30,070	31,270	28,250	29,000
19:45:00	26,960	27,500	28,360	25,750	25,750	26,120	28,260
20:00:00	20,850	16,552	20,154	17,643	16,994	19,353	23,140
20:15:00	21,929	16,572	20,383	16,973	17,172	17,157	21,920
20:30:00	20,893	16,413	17,583	17,535	19,538	16,777	22,600
20:45:00	17,554	17,416	15,605	19,928	18,478	17,482	20,930
21:00:00	15,760	17,401	18,631	18,671	16,644	16,923	23,740
21:15:00	15,329	16,271	15,722	16,865	16,292	17,019	19,796
21:30:00	14,970	16,656	15,607	16,465	16,690	16,841	20,960
21:45:00	15,280	16,340	15,636	16,635	16,146	17,276	26,860
22:00:00	15,421	15,405	14,434	16,562	16,851	17,607	23,720
22:15:00	14,503	14,886	16,465	15,191	15,169	17,353	17,428
22:30:00	14,253	14,315	16,103	14,634	16,155	17,501	12,616
22:45:00	14,053	14,569	14,096	13,966	14,482	18,124	12,324
23:00:00	14,349	14,447	14,292	14,557	14,898	16,726	14,142
23:15:00	13,576	13,543	15,668	14,160	15,800	14,206	12,618
23:30:00	13,286	13,466	14,486	14,184	13,483	12,829	12,301
23:45:00	12,774	13,809	14,106	13,475	13,251	14,036	12,267

Fonte: Dados coletados por um analisador de energia elétrica de marca Microvip

APÊNDICE 4

Tabela 10. Importes para as estruturas tarifárias existentes, e preço médio, considerando valores de parâmetros elétricos praticados pela UC no triênio ago/00 a jul/03.

MÊS/ANO	CT (kWh)	CP (kWh)	CFP (kWh)	Convencional (R\$)	Azul (R\$)	Verde (R\$)
Ago./00	21000	1343,1	19656,9	3351,27	3197,76	2925,60
Set./00	24000	1415,7	22584,3	3718,23	3475,18	3188,32
Out./00	21500	1452,0	20048,0	3503,16	3389,60	3095,37
Nov./00	23000	1379,4	21620,6	3584,57	3364,51	3085,00
Dez./00	22000	1452,0	20548,0	3552,98	3284,40	2976,73
Jan./01	23000	1379,4	21620,6	3584,57	3225,63	2931,96
Fev./01	24000	1343,1	22656,9	3650,18	3221,35	2934,35
Mar./01	21500	1306,8	20193,2	3367,06	3041,33	2763,30
Abr./01	25000	1452,0	23548,0	3938,06	3510,62	3194,15
Mai./01	28500	1560,9	26939,1	5024,51	4610,73	4240,52
Jun./01	26000	1669,8	24330,2	4852,82	4638,41	4242,37
Jul./01	23500	1524,6	21975,4	4303,01	4219,40	3857,81
Ago./01	20500	1452,0	19048,0	3974,49	3895,27	3550,89
Set./01	20500	1306,8	19193,2	3815,57	3640,02	3330,08
Out./01	12500	1379,4	11120,6	2964,21	3243,63	2916,47
Nov./01	18500	1343,1	17156,9	3622,59	3572,83	3254,28
Dez./01	15500	1161,6	14338,4	3074,88	2935,93	2660,51
Jan./02	22000	1161,6	20838,4	4019,03	3474,67	3185,73
Fev./02	20500	1234,2	19265,8	4030,78	3617,06	3301,33
Mar./02	19000	1270,5	17729,5	3966,43	3673,21	3348,19
Abr./02	21000	1343,1	19656,9	4521,14	4138,23	3780,53
Mai./02	24500	1524,6	22975,4	5583,26	5301,94	4867,51
Jun./02	25500	1452,0	24048,0	5633,61	5233,13	4819,39
Julh./02	22000	1343,1	20656,9	4994,21	4720,88	4338,17
Ago./02	23000	1560,9	21439,1	5434,58	5274,01	4829,24
Set./02	21500	1379,4	20120,6	4940,33	4728,18	4337,96
Out./02	20500	1488,3	19011,7	4746,44	4686,79	4282,05
Nov./02	22000	1452,0	20548,0	4911,55	4736,66	4341,79
Dez./02	19500	1379,4	18120,6	4369,36	4210,08	3835,09
Jan./03	23000	1452,0	21548,0	4142,63	3782,74	3459,06
Fev./03	26500	1452,0	25048,0	4545,69	3993,23	3669,55
Mar./03	24500	1452,0	23048,0	4315,37	3872,95	3549,27
Abr./03	24000	1524,6	22475,4	4641,39	4201,37	3840,32
Mai./03	37000	1778,7	35221,3	12648,56	10678,82	10214,64
Jun./03	25500	1669,8	23830,2	10634,26	9265,67	8822,85
Jul./03	27000	1742,4	25257,6	6887,92	6317,74	5855,97
Total	819000	51582,3	767417,7	168848,70	156373,96	143826,35
Preço Médio				0,21	0,19	0,18

Os preços das tarifas estão de acordo com Brasil (2000b), Brasil (2001), Brasil (2002b) e Brasil (2003b).

APÊNDICE 5

Tabela 11. Demandas máximas de potências coletadas pelo analisador de energia(antes), e do Relatório de curva de carga(depois)

(continua)

Demandas máximas de potências(kW)			Demandas máximas de potências(kW)		
Horário	Antes	Depois	Horário	Antes	Depois
00:00	15	31	09:15	155	163
00:15	14	30	09:30	136	181
00:30	14	37	09:45	148	185
00:45	14	39	10:00	164	188
01:00	14	40	10:15	202	195
01:15	15	38	10:30	205	187
01:30	14	33	10:45	204	174
01:45	14	39	11:00	160	135
02:00	14	38	11:15	73	86
02:15	14	39	11:30	78	43
02:30	14	40	11:45	64	38
02:45	13	34	12:00	56	50
03:00	14	34	12:15	81	82
03:15	14	36	12:30	88	118
03:30	14	37	12:45	104	132
03:45	15	38	13:00	100	132
04:00	24	42	13:15	109	140
04:15	25	42	13:30	138	153
04:30	24	44	13:45	154	154
04:45	24	44	14:00	162	151
05:00	24	44	14:15	198	172
05:15	25	38	14:30	216	168
05:30	25	34	14:45	222	172
05:45	25	35	15:00	222	175
06:00	25	36	15:15	225	182
06:15	25	36	15:30	220	175
06:30	25	36	15:45	224	174
06:45	26	34	16:00	220	172
07:00	18	40	16:15	229	163
07:15	42	89	16:30	209	156
07:30	60	102	16:45	182	152
07:45	102	129	17:00	136	155
08:00	115	145	17:15	118	157
08:15	142	143	17:30	99	159
08:30	148	142	17:45	55	140
08:45	150	163	18:00	55	75
09:00	153	171	18:15	52	50

Tabela 11. Demandas máximas de potências coletadas pelo analisador de energia(antes) e do Relatório de curva de carga(depois)

Demandas máximas de potências			(conclusão)		
Horário	Antes	Depois	Horário	Antes	Depois
18:30	55	62	21:15	17	40
18:45	56	52	21:30	18	40
19:00	43	51	21:45	21	41
19:15	35	57	22:00	20	38
19:30	33	51	22:15	17	38
19:45	31	46	22:30	18	40
20:00	21	40	22:45	18	41
20:15	22	43	23:00	17	44
20:30	21	41	23:15	16	41
20:45	20	40	23:30	17	41
21:00	19	42	23:45	14	40

APÊNDICE 6

Demonstração das fórmulas (12), (13) e (14) de preço médio de energia elétrica propostas neste trabalho.

1 Preço médio

As fórmulas do preço médio P_m da tarifa de energia elétrica já foram colocadas no item 4.5.1.1. Contudo, inicialmente será considerada a seguinte expressão, para o preço médio da energia elétrica:

$$P_m = \frac{IM}{CT} \quad (34),$$

onde IM, é definido no item 4.5 como sendo o valor em reais da soma das parcelas referentes ao consumo e demanda do fornecimento de energia elétrica, e CT é o consumo total, cuja unidade é kWh, e para efeito de cálculos nas fórmulas será colocado apenas C, ou seja, $C=CT$.

2 Preço médio para ETC

Neste caso, o importe IM é calculado, conforme Comitê (1995), por:

$$IM = D \cdot TD + C \cdot TC \quad (35)$$

Onde:

IM = valor em reais do total do fornecimento de energia elétrica de uma UC;

D = valor em kW da demanda de potência;

TD = valor em R\$/kW da tarifa de demanda;

C = valor total em kWh do consumo de energia elétrica;

TC = valor em R\$/kWh da tarifa de consumo.

Na ETC, conforme a equação (14), o preço médio é calculado pela seguinte expressão:

$$P_m = \frac{TD}{FC \cdot 730} + TC$$

Prova

Neste contexto, quando se utilizar o consumo de energia elétrica C, fica subentendido que é consumo total CT, ou seja, C=CT.

$$P_m = \frac{IM}{C} \Rightarrow P_m = \frac{D \cdot TD + C \cdot TC}{C} \Rightarrow P_m = \frac{D \cdot TD}{C} + TC \Rightarrow$$

$$P_m = \frac{1}{\frac{C}{D \cdot TD}} + TC \Rightarrow P_m = \frac{1}{\frac{C}{D \cdot 730} \cdot \frac{730}{TD}} + TC \Rightarrow P_m = \frac{1}{FC \cdot \frac{730}{TD}} + TC \Rightarrow P_m = \frac{TD}{FC \cdot 730} + TC ,$$

que é a formula do preço médio para a ETC.

3 Preço médio para MTHSV

O importe IM para MTHSV é calculado, conforme Comitê (1995), por:

$$IM = D \cdot TD + CP \cdot TCP + CFP \cdot TCFP \quad (36)$$

Onde:

IM, D e TD têm os mesmos significados de (32);

CP = valor em kWh do consumo de energia elétrica do horário de ponta;

CFP = valor em kWh do consumo de energia elétrica do horário fora de ponta;

TCP = valor em R\$/kWh da tarifa de consumo do horário de ponta;

TCFP = valor em R\$/kWh da tarifa de consumo do horário fora de ponta.

Como já foi visto na equação (13), a fórmula que calcula o preço médio para a MTHSV, e que deve ser provada, é:

$$P_m = \frac{TD}{FC \cdot 730} + \frac{CP}{CT} (TCP - TCFP) + TCFP$$

Prova

$$\begin{aligned} P_m &= \frac{IM}{C} = \frac{D \cdot TD + CP \cdot TCP + CFP \cdot TCFP}{CT} \Rightarrow P_m = \frac{D \cdot TD}{CT} + \frac{CP \cdot TCP}{CT} + \frac{CFP \cdot TCFP}{CT} \Rightarrow \\ P_m &= \frac{D \cdot TD}{CT} + \frac{CP \cdot TCP}{CT} + \frac{(CT - CP) \cdot TCFP}{CT} \Rightarrow \\ P_m &= \frac{D \cdot TD}{CT} + \frac{CP \cdot TCP}{CT} + \frac{CT \cdot TCFP}{CT} - \frac{CP}{CT} \cdot TCFP \Rightarrow \\ P_m &= \frac{1}{\frac{CT}{D \cdot 730} \cdot \frac{730}{TD}} + \frac{CP}{CT} \cdot TCP - \frac{CP}{CT} \cdot TCFP + TCFP \Rightarrow P_m = \frac{TD}{FC \cdot 730} + \frac{CP}{CT} \cdot (TCP - TCFP) + TCFP, \text{ que} \end{aligned}$$

é o que se queria demonstrar.

4 Preço médio para a MTHSA

Conforme Comitê (1995), o importe IM para a MTHSV é calculado por:

$$IM = DP \cdot TDP + DFP \cdot TDFP + CP \cdot TCP + CFP \cdot TCFP \quad (37)$$

Onde:

IM, CP, CFP, TCP e TCFP têm os mesmos significados de (33);

DP = valor em kW da demanda de potência do horário de ponta;

DFP = valor em kW da demanda de potência do horário fora de ponta;

TDP = valor em R\$/kW da tarifa de demanda do horário de ponta;

TDFP = valor em R\$/kW da tarifa de demanda do horário fora de ponta.

A fórmula para o cálculo do preço médio da energia elétrica para a MTHSA, é segundo equação (12),

$$P_m = \frac{CP}{CT} \left(\frac{TDP}{FCP \cdot 66} + TCP \right) + \left(\frac{TDFP}{FCFP \cdot 664} + TCFP \right) \cdot \left(1 - \frac{CP}{CT} \right)$$

Prova

$$P_m = \frac{IM}{CT} = \frac{DP \cdot TDP + DFP \cdot TDFP + CP \cdot TCP + CFP \cdot TCFP}{CT} \quad (*)$$

Seja $IM = X + Y$ (**), onde $X = DP \cdot TDP + CP \cdot TCP$, e $Y = DFP \cdot TDFP + CFP \cdot TCFP$.

$$\text{Logo, } P_m = \frac{X+Y}{CT} = \frac{X}{CT} + \frac{Y}{CT} \quad (***)$$

Para que as passagens feitas não fiquem muito longas, serão trabalhadas as parcelas $\frac{X}{CT}$, e

$\frac{Y}{CT}$ separadamente, somando-se os resultados obtidos posteriormente.

Para a razão $\frac{X}{CT}$, tem-se:

$$\frac{X}{CT} = \frac{DP \cdot TDP + CP \cdot TCP}{CT} = \frac{DP \cdot TDP}{CT} + \frac{CP \cdot TCP}{CT} \Rightarrow \frac{X}{CT} = \frac{CP}{CT} \cdot \frac{DP \cdot TDP}{CP} + \frac{CP}{CT} \cdot TCP \Rightarrow$$

$$\frac{X}{CT} = \frac{CP}{CT} \cdot \left(\frac{DP \cdot TDP}{CP} + TCP \right) = \frac{CP}{CT} \cdot \left(\frac{1}{\frac{CP}{DP \cdot TDP}} + TCP \right) = \frac{CP}{CT} \cdot \left(\frac{1}{\frac{CP}{DP \cdot 66} \cdot \frac{66}{TDP}} + TCP \right)$$

$$= \frac{CP}{CT} \cdot \left(\frac{1}{\frac{FCP \cdot 66}{TDP}} + TCP \right)$$

$$\therefore \frac{X}{CT} = \frac{CP}{CT} \cdot \left(\frac{TDP}{FCP \cdot 66} + TCP \right).$$

Cálculos para a razão $\frac{Y}{CT}$

$$\begin{aligned}\frac{Y}{CT} &= \frac{DFP \cdot TDFP + CFP \cdot TCFP}{CT} = \frac{DFP \cdot TDFP}{CT} + \frac{CFP \cdot TCFP}{CT} = \frac{DFP \cdot TDFP \cdot CFP}{CT \cdot CFP} + \frac{(CT - CP) \cdot TCFP}{CT} \Rightarrow \\ \frac{Y}{CT} &= \frac{DFP \cdot TDFP \cdot (CT - CP)}{CT \cdot CFP} + \frac{(CT - CP) \cdot TCFP}{CT} = \frac{DFP \cdot TDFP \cdot CT}{CT \cdot CFP} - \frac{DFP \cdot TDFP \cdot CP}{CT \cdot CFP} + \left(1 - \frac{CP}{CT}\right) \cdot TCFP \Rightarrow \\ \frac{Y}{CT} &= \frac{DFP \cdot TDFP}{CFP} - \frac{CP}{CT} \cdot \frac{DFP \cdot TDFP}{CFP} + \left(1 - \frac{CP}{CT}\right) TCFP = \frac{1}{\frac{CFP}{DFP \cdot TDFP}} - \frac{CP}{CT} \cdot \frac{1}{\frac{CFP}{DFP \cdot TDFP}} + \left(1 - \frac{CP}{CT}\right) \cdot TCFP \Rightarrow \\ \frac{Y}{CT} &= \frac{1}{\frac{CFP}{DFP \cdot 664} \cdot \frac{664}{TDFP}} - \frac{CP}{CT} \cdot \frac{1}{\frac{CFP}{DFP \cdot 664} \cdot \frac{664}{TDFP}} + \left(1 - \frac{CP}{CT}\right) \cdot TCFP \Rightarrow \\ \frac{Y}{CT} &= \frac{TDFP}{FCFP \cdot 664} - \frac{CP}{CT} \cdot \frac{TDFP}{FCFP \cdot 664} + \left(1 - \frac{CP}{CT}\right) \cdot TCFP = \frac{TDFP}{FCFP \cdot 664} \cdot \left(1 - \frac{CP}{CT}\right) + TCFP \cdot \left(1 - \frac{CP}{CT}\right) \Rightarrow \\ \frac{Y}{CT} &= \left(\frac{TDFP}{FCFP \cdot 664} + TCFP\right) \cdot \left(1 - \frac{CP}{CT}\right).\end{aligned}$$

Substituindo as expressões de $\frac{X}{CT}$ e $\frac{Y}{CT}$ em (**), obtém-se finalmente:

$$P_m = \frac{CP}{CT} \cdot \left(\frac{TDP}{FCP \cdot 66} + TCP\right) + \left(\frac{TDFP}{FCFP \cdot 664} + TCFP\right) \cdot \left(1 - \frac{CP}{CT}\right), \text{ que é a expressão do preço médio para a}$$

MTHSA.