CESAR AUGUSTO PALÁCIO DANTAS

Desenvolvimento e aplicação do índice de desempenho energético da iluminação pública utilizando lógica nebulosa: estudo de caso da Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" da Universidade de São Paulo

São Paulo

2015

CESAR AUGUSTO PALÁCIO DANTAS

Desenvolvimento e aplicação do índice de desempenho energético da iluminação pública utilizando lógica nebulosa: estudo de caso da Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" da Universidade de São Paulo

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Orientador: Prof. Dr. Fuad Kassab Junior

São Paulo

2015

CESAR AUGUSTO PALÁCIO DANTAS

Desenvolvimento e aplicação do índice de desempenho energético da iluminação pública utilizando lógica nebulosa: estudo de caso da Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" da Universidade de São Paulo

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Engenharia de Telecomunicações e Controle

Orientador: Prof. Dr. Fuad Kassab Junior

São Paulo

2015

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 16 de dezembro de 2015

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Dedico este trabalho a minha esposa Enedina Aparecida Cunha Palácio Dantas, aos meus pais Amyr Dantas e Clarice Palácio Dantas, meus tios Cesar Augusto Pereira e Jeannette Palácio Pereira, a amiga Maria José De Divitiis e ao amigo Dr. Wilsom Simonelli.

AGRADECIMENTOS

Expresso agradecimento ao meu orientador Prof. Dr. Fuad Kassab Junior pela orientação, incentivo e relevante apoio técnico que permitiram melhoramentos deste trabalho de pesquisa.

Ao Prof. Dr. José Sidnei Colombo Martini que colaborou com o meu processo de aprendizagem, seja na parte técnica ou ensinamentos de vida.

Ao Prof. Dr. Claudio Garcia que me orientou na preparação para a minha participação do exame de ingresso no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE.

RESUMO

A eficiência e a racionalidade energética da iluminação pública têm relevante importância no sistema elétrico, porque contribui para diminuir a necessidade de investimentos na construção de novas fontes geradoras de energia elétrica e nos desperdícios energéticos.

Apresenta-se como objetivo deste trabalho de pesquisa o desenvolvimento e aplicação do IDE (índice de desempenho energético), fundamentado no sistema de inferência nebulosa e indicadores de eficiência e racionalidade de uso da energia elétrica.

A opção em utilizar a inferência nebulosa deve-se aos fatos de sua capacidade de reproduzir parte do raciocínio humano, e estabelecer relação entre a diversidade de indicadores envolvidos.

Para a consecução do sistema de inferência nebulosa, foram definidas como variáveis de entrada: os indicadores de eficiência e racionalidade; o método de inferência foi baseado em regras produzidas por especialista em iluminação pública, e como saída um número real que caracteriza o IDE.

Os indicadores de eficiência e racionalidade são divididos em duas classes: globais e específicos. Os indicadores globais são: FP (fator de potência), FC (fator de carga) e FD (fator de demanda). Os indicadores específicos são: FU (fator de utilização), ICA (consumo de energia por área iluminada), IE (intensidade energética) e IL (intensidade de iluminação natural).

Para a aplicação deste trabalho, foi selecionada e caracterizada a iluminação pública da Cidade Universitária “Armando de Salles Oliveira” da Universidade de São Paulo. Sendo assim, o gestor do sistema de iluminação, a partir do índice desenvolvido neste trabalho, dispõe de condições para avaliar o uso da energia elétrica e, desta forma, elaborar e simular estratégias com o objetivo de economizá-la.

Palavras-chave: Energia Elétrica. Iluminação Pública. Eficiência e Racionalidade Energética. Sistema de Inferência Nebulosa.

ABSTRACT

The energy efficiency and rationality of public lighting have great importance in the electrical system, because it contributes to reduce the need for investment in building new sources of power and energy waste.

It presented as objective of this work research development and application of IDE (Energy Performance Index), based on the fuzzy inference system and indicators of efficiency and rationality of use of electricity.

The option to use the fuzzy inference is due to the facts of his ability to play part of human reasoning, and establish the relationship between indicators of diversity involved.

To achieve the fuzzy inference system, it was defined as input variables: the efficiency and rationality indicators; the inference rules-based method was produced by expert in public lighting and as output a real number that characterizes the IDE.

Efficiency and rationality indicators are divided into two classes: global and specific. The global indicators are: PF (power factor), FC (load factor) and FD (demand factor). Specific indicators are: FU (utilization factor), ICA (energy consumption per lit area), IE (energy intensity) and IL (daylight intensity).

For the application of this work was selected and characterized the public lighting of the University City "Armando de Salles Oliveira" the University of São Paulo. Thus, the lighting system manager from the index developed in this work, have conditions to evaluate the use of electricity and thus prepare and simulate strategies in order to save it.

Keywords: Electricity, Lighting, Efficiency and rationality, Fuzzy inference system.

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Quantificação de luminárias instaladas do tipo LED
Tabela 4.2 Características elétricas e fotométricas das luminárias
Tabela 4.3 Cenários de operação do sistema de iluminação

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 Limites fotométricos - vias de tráfego motorizado e pedestres.
Quadro 2.2 Eficiência e rendimento por tipo de lâmpada
Quadro 2.3 Tensão elétrica de alimentação do subgrupo A
Quadro 2.4 Tensão elétrica de alimentação do subgrupo B
Quadro 4.1 Valores dos domínios da variável de entrada FP
Quadro 4.2 Valores do domínio da variável de entrada FC
Quadro 4.3 Valores do domínio da variável de entrada FD
Quadro 4.4 Valores dos domínios da variável de entrada FU
Quadro 4.5 Valores dos domínios da variável de entrada ICA
Quadro 4.6 Valores dos domínios da variável de entrada IE
Quadro 4.7 Valores dos domínios da variável de entrada IL
Quadro 4.8 Valores dos domínios da variável de saída IDE

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Estrutura tarifária
Figura 2.2 Pirâmide de Informações
Figura 2.3 Função de pertinência gaussiana
Figura 2.4 Função de pertinência triangular e trapezoidal
Figura 2.5 Função de pertinência discretizada
Figura 2.6 Conjunto nebuloso triangular
Figura 2.7 Conjunto nebuloso trapezoidal
Figura 2.8 Conjuntos nebulosos A e B
Figura 2.9 União de dois conjuntos nebulosos A e B
Figura 2.10 Intersecção de dois conjuntos nebulosos A e B
Figura 2.11 Conjunto nebuloso A
Figura 2.12 Conjunto nebuloso complementar
Figura 2.13 Arquitetura básica de um sistema de inferência nebulosa
Figura 2.14 Sistema de inferência nebulosa Mamdani
Figura 3.1 Fluxograma de desenvolvimento da metodologia
Figura 3.2 Diagrama em blocos do sistema de controle do fluxo luminoso
Figura 3.3 Objetivo do sistema de controle
Figura 3.4 Triângulo retângulo de potência
Figura 3.5 Diagrama em blocos do sistema de inferência baseado em regras nebulosas para determinação do IDE
Figura 4.1 Cidade Universitária ”Armando de Salles Oliveira” da Universidade de São Paulo
Figura 4.2 Tela com os dados
Figura 4.3 Configuração dos dados Fuzzy Logical
Figura 4.4 Cenário de simulação do cálculo do IDE
Figura 4.5 Cenário de operação do sistema de iluminação para o cálculo do IDE

LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abesco	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia.
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
BTU	British Thermal Unit
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais S.A.
Cepel	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
Copel	Companhia Paranaense de Energia
Eletrobrás	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FC	Fator de carga
FD	Fator de demanda
FP	Fator de potência
FU	Fator de utilização
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Consumo de energia por área pública iluminada
IE	Intensidade energética
IEE/USP	Instituto de Eletrotécnica e Energia Atual: Instituto de Energia e Ambiente
IDE	Índice de desempenho energético
IFE	Índice de eficiência e racionalidade energética
IL	Intensidade de iluminação natural
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
LED	Ligth Emitting Diode
MATLAB	Ambiente de Computação Científica da Mathworks
PEE	Programa de Eficiência Energética
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PURE /USP	Programa permanente para o uso eficiente de energia na USP
Reluz	Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes

SÍMBOLOS

V	Conectivo “e”
Λ	Conectivo “ou”
∩	Intersecção
*	Produto algébrico
×	Produto cartesiano
U	União
∈	Pertence
Δ	Variação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRABALHO DE PESQUISA 1
1.1.1 Gestão Energética 2
1.1.2 Conservação de Energia 3
1.1.3 Eficiência Técnica do Uso da Energia 4
1.2 JUSTIFICATIVA 5
1.3 OBJETIVOS 6
1.3.1 Objetivo Geral 6
1.3.2 Objetivos Específicos 6
1.4 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO 7
2 REVISÃO DA LITERATURA. 8
2.1 ILUMINAÇÃO PÚBLICA 8
2.1.1 Definições de Luminotécnica 9
2.1.2 Eficiência Luminosa e Rendimento das Lâmpadas de Iluminação Pública 10
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 11
2.2.1 Conceito 11
2.2.2 A Eficiência Energética na Estratégia Energética 14
2.2.3 A Eficiência Energética no Consumo de Energia 15
2.3 UTILIZAÇÃO RACIONAL DE ENERGIA 16
2.4 TARIFAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA 16
2.4.1 Conceitos e Definições 16
2.4.2 Tensão Elétrica de Fornecimento 18
2.4.3 Estrutura Tarifária 19
2.5 ÍNDICE DE DESEMPENHO E INDICADORES DE USO DE ENERGIA ELÉTRICA 20
2.5.1 Conceitos de Índice e Indicador 20
2.5.2 Finalidade dos Índices e Indicadores 23
2.5.3 Indicadores de Eficiência Energética 24
2.6 LÓGICA NEBULOSA 26
2.6.1 Introdução 26

2.6.2 Fundamentos Básicos..... 28
2.6.3 Universo do Discurso..... 29
2.6.4 Variável Lingüística..... 29
2.6.5 Conjunto Nebuloso..... 32
2.6.6 Operações com Conjuntos Nebulosos..... 35
2.6.7 Regras de Inferência Nebulosa..... 37
2.6.8 Sistema de Inferência Nebulosa..... 38
3 MÉTODOS..... 44
3.1 INTRODUÇÃO..... 44
3.2 COLETA DE DADOS..... 45
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO ENSAIO..... 45
3.4 INDICADORES DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA..... 47
3.4.1 Indicadores Globais do Uso de Energia Elétrica..... 48
3.4.2 Indicadores Específicos do Uso de Energia Elétrica..... 53
3.4.3 Índice de Desempenho Energético..... 55
3.5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA NEBULOSA..... 55
3.6 RECURSO COMPUTACIONAL..... 57
4 ESTUDO DE CASO..... 58
4.1 LOCALIZAÇÃO..... 58
4.2 JUSTIFICATIVA..... 59
4.3 DELIMITAÇÃO..... 59
4.4 CARGA INSTALADA..... 59
4.5 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS E FOTOMÉTRICAS DAS LUMINÁRIAS..... 60
4.6 COLETA DE DADOS..... 60
4.7 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO..... 61
4.8 CARACTERIZAÇÃO FOTOMÉTRICA E ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO..... 62
4.9 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA NEBULOSA..... 63
4.10 RESULTADOS E ANÁLISE..... 71

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABAHOS FUTUROS..... 73
5.1 CONCLUSÕES..... 73
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... 73

REFERÊNCIAS 74

ANEXO A 81

1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta o âmbito do trabalho de pesquisa expondo a contextualização, justificativa, os objetivos e a estruturação do documento.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRABALHO DE PESQUISA

As conseqüências das crises energéticas (do petróleo em 1972 e 1979 e o racionamento de energia elétrica entre 2001 e 2002), relevância crescente do meio ambiente com relação à sustentabilidade e à projeção do aumento do consumo de energia elétrica até 2020, preocupam-nos os impactos do racionamento[1] de energia elétrica para os consumidores finais, conforme Nota Técnica da EPE (Empresa de Pesquisa Energética) em 2012.

Segundo o Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) (2006, p. XV), a partir das sucessivas crises nacionais e internacionais de energia e as constantes preocupações com os riscos e impactos ambientais devido a construção de usinas geradoras de energia, a economia de energia passou a ser um objetivo a ser alcançado por meio de esforços dos órgãos governamentais, empresas comerciais e industriais e da sociedade.

Diante deste cenário, as empresas, órgãos governamentais e a sociedade estão fazendo grandes esforços, objetivando a economia de energia elétrica.

O resultado da economia de energia é produto de mudança de hábitos, alterações dos procedimentos operacionais das empresas e as substituições dos equipamentos de menor eficiência pelos de maior eficiência.

Esse resultado pode ser avaliado por meio do IDE baseado em indicadores de eficiência e racionalidade do uso da energia elétrica.

---

[1] Racionamento: redução compulsória do fornecimento de energia elétrica aos consumidores finais, materializado pelo corte de fornecimento ou por medidas de estimulo á redução de consumo.

Os indicadores utilizados para avaliar como a energia elétrica está sendo utilizada são divididos em duas classes: os globais e os específicos.

De acordo com Morales (2007, p.15), os indicadores globais caracterizam a unidade consumidora sob o ponto de vista da eficiência e racionalidade do uso da energia elétrica. Os indicadores globais utilizados neste trabalho de pesquisa são: o FP, FC e o FD.

Ainda citando Morales (2007, p. 18), os indicadores específicos têm como objetivo avaliar a unidade consumidora considerando as informações físicas de ocupação e os usos finais. Os indicadores específicos utilizados neste trabalho de pesquisa são: ICA, IE, IL e FU.

A teoria da Lógica Nebulosa, neste trabalho, está sendo, aqui usada como método para calcular o IDE devido a sua possibilidade em inferir conclusões, gerar respostas baseando-se em informações quantativamente, incompletas ou imprecisas e na experiência do especialista.

Os dados foram coletados do sistema de automação e controle de iluminação pública do Campus da Cidade Universitária, tais como, o histórico de consumo de energia elétrica ativa e o FP por luminária.

Assim, o gestor da iluminação pública do Campus da Cidade Universitária, tem ao seu dispor, o IDE, que informa como a energia elétrica está sendo utilizada sob o ponto de vista de eficiência e racionalidade. Então as ações que promovam o aumento do resultado do IDE, entre dois intervalos do tempo, proporcionam economia nos custos com energia elétrica.

Continuando a contextualização do trabalho de pesquisa, apresentam-se os conceitos de gestão energética e conservação de energia.

1.1.1 **Gestão Energética**

No contexto empresarial, na maioria das vezes, a melhoria da produtividade necessita da implantação de uma política de mudanças nos processos produtivos e

administrativos. O conceito de política engloba a definição de níveis de delegação, resultados aceitáveis, estratégias e ações para a consecução dos objetivos. A gestão da energia integra-se nesta política e, muitas vezes, é o seu agente principal.

De acordo com Ferreira (1994, p. 6), a gestão energética é uma ação de administrar que conduz ao menor consumo de energia por meio da otimização na aplicação dos recursos disponíveis, mantendo a satisfação das necessidades do gestor da iluminação pública.

Para Batista (2012, p. 119), a gestão energética, nas universidades, é o uso criterioso e eficiente de energia por meio da identificação e implementação de ações que reduzam o consumo e os custos com energia.

A gestão energética engloba a gestão de contrato de fornecimento de energia, sistema tarifário, usos de tecnologias, qualidade da energia elétrica, monitoramento e auditoria energética[2].

Também envolve aspectos voltados à qualificação profissional (engenheiros e técnicos) e estratégicos relacionados à análise de cenários, integração de sistemas de tecnologia da informação, IDE e indicadores de uso da energia elétrica.

Ainda segundo Batista (2012, p.119), o sistema de gestão energética acompanha a evolução do IDE e atua com o objetivo de reduzir o consumo e o custo de energia elétrica, por meio de ações que proporcionam a utilização racional e eficiente.

1.1.2 **Conservação de Energia**

A conservação de energia, em seu significado mais amplo, é a redução voluntária no uso da energia abaixo de um determinado valor de consumo, portanto conduz a um valor monetário menor. Usualmente, tal redução exige alguma

[2]Auditoria energética: levantamento de informações e analise das condições de utilização da energia, com o objetivo de detectar oportunidade de racionalização, por meio de medidas com viabilidade técnica-econômica.

alteração em termos de conforto, adequação, uso adicional ou do trabalho ou de capital.

De acordo com Ferreira (1994, p. 14), conservação de energia é um conceito utilizado para adequar todas as ações que tenham como objetivo a melhoria do uso da energia, ou seja, é a redução da quantidade de energia consumida para uma determinada quantidade energética necessária à satisfação de uma necessidade.

Ainda segundo Ferreira (1994, p. 14), a economia ou poupança energética, a partir de ações de conservação de energia, depende da motivação e decisão dos consumidores, e está alicerçada na intervenção das Agências Regulatórias, que deverão atuar no sentido de mudar as atitudes comportamentais dos mesmos.

Segundo Munasinghe (1983, p. 176), o conjunto de políticas disponíveis para a implementação efetiva de medidas de conservação de energia são: preço, racionamento, controle físico, o uso de dispositivo técnico, legislação, impostos, educação e propaganda.

Atualmente, a conservação de energia é atrativa e um importante elemento de gestão de demanda no período de racionamento de energia, devido ao baixo nível dos reservatórios das barragens de energia hidráulica.

1.1.3 **Eficiência Técnica do Uso da Energia**

De acordo com Munasinghe (1983, p. 178), a eficiência técnica de uso de energia é definida em termos da Primeira Lei da Termodinâmica.

A Primeira Lei da Termodinâmica define a eficiência por meio da relação entre a energia total na entrada e a energia útil na saída. Na sua forma mais simples, afirma que qualquer tipo de energia (química, elétrica, calor, mecânica), não pode ser criada ou destruída, somente pode ser transformada. Então, a eficiência energética é definida conforme as equações (1.1) e (1.2):

$$\text{Eficiência energética} = \frac{\text{energia útil na saída do processo}}{\text{energia total na entrada}} \quad \textbf{(1.1)}$$

$$\text{Eficiência energética} = 1 - \frac{\text{energia perdida do processo}}{\text{energia total na entrada}} \quad \textbf{(1.2)}$$

1.2 JUSTIFICATIVA

Para o setor elétrico brasileiro, é imprescindível a conservação de energia, porque reduz os recursos alocados na expansão das unidades geradoras e das redes de transmissão e distribuição de energia. Por este motivo, o governo federal implementou programas com o intuito de estimular o uso da energia elétrica de forma eficiente e racional.

O governo federal em 1985, por meio da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.), criou o Procel com o objetivo de promover o uso eficiente da energia elétrica, combater o desperdício e reduzir os custos.

Outro programa instituído pelo governo federal em 2000 é o Reluz sendo um dos objetivos estimular o desenvolvimento de sistemas eficientes de iluminação pública.

Segundo Costa (2006, p.79), o mercado brasileiro de iluminação está em constante modificação. Isso é constatado pelos sucessivos aumentos da tarifa de energia elétrica. Portanto, a eficiência energética é relevante, e deve ser alcançada por meio de um projeto eficaz, racionalização do uso e manutenção preventiva adequada.

Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) (2011, p.86), projeta o crescimento de 50% da demanda de energia elétrica, para o período entre 2011-2020.

Conforme Louçano (2009, p. 1), o levantamento realizado pelo Procel (2008), a iluminação pública no Brasil corresponde aproximadamente 3% do consumo total de energia elétrica do país.

Baseando-se em informações dos últimos parágrafos, nos apresentam o crescimento do consumo de energia com a iluminação pública, portanto, além de instalarmos produtos eficientes, faz-se necessário o uso da energia elétrica de forma racional.

Então, é relevante e útil desenvolver um IDE baseado em indicadores de eficiência e racionalidade do uso de energia elétrica, como ferramenta de apoio à gestão da iluminação pública, para avaliar o seu uso.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 **Objetivo Geral**

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo geral a aplicação de métodos de lógica nebulosa visando obter o IDE da iluminação pública: estudo de caso da Cidade Universitária “Armando de Salles Oliveira” da Universidade de São Paulo

Para tanto, foram definidos alguns objetivos específicos.

1.3.2 **Objetivos Específicos**

- estabelecer indicadores globais e específicos de eficiência e racionalidade do uso da energia elétrica;

- estabelecer os conjuntos, variáveis linguísticas, funções de pertinências e regras de inferências baseando-se na técnica da lógica nebulosa;

- desenvolver o IDE;

- disponibilizar o IDE para a gestão da iluminação pública.

1.4. ESTRUTURA DE ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O documento referente à dissertação, além da introdução, está dividido em 04 capítulos.

Capítulo 2 - aborda a relevância da eficiência energética, os conceitos de indicadores de eficiência energética e aspectos teóricos da lógica nebulosa, os quais complementam a fundamentação teórica da metodologia proposta.

Capítulo 3 – apresenta a metodologia utilizada para a definição do IDE na iluminação pública, a partir de indicadores globais e específicos do uso de energia elétrica.

Capítulo 4 - estudo de caso com apresentação da planta, do relato da sua justificativa, das funções de pertinência, regras de inferência e cálculo do IDE.

Capitulo 5 - contém as conclusões sobre os resultados obtidos pela aplicação da metodologia desenvolvida e perspectivas para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A iluminação pública é essencial à qualidade de vida da população nos centros urbanos, pois está relacionada à segurança pública e as atividades noturnas, como lazer, mobilidade e trabalho.

Segundo Dantas, a iluminação pública no Brasil corresponde a aproximadamente 4,5% da demanda nacional e a 3% do consumo total de energia elétrica do país. O equivalente a demanda de 2,2 GW e ao consumo de 9,7 bilhões de kWh/ano.

O aumento do consumo de energia elétrica, as dificuldades em atender as demandas atuais e futuras de consumo e o elevado custo de geração de energia elétrica das fontes alternativas, tais como, carvão, gás natural, eólica e nuclear, exigem dos governos federal, estadual, municipal e empresas a adoção de programas de conservação de energia.

No Brasil, há vários programas para promoção da conservação de energia, além do já citado Procel, há o PEE (Programa de Eficiência Energética) e o PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem).

O uso racional e eficiente da energia elétrica proporciona a redução do consumo de energia elétrica e melhor qualidade do serviço de iluminação pública.

Segundo Marques (2006, p.231), a iluminação nos setores residencial, comercial e pública é ineficiente no Brasil, por diversos motivos combinados, tais como: lâmpadas, reatores e refletores ineficientes e por péssimos hábitos na sua utilização que geram desperdícios. Adotar luminárias de alta eficiência energética e fazer uso racional da iluminação contribuem para a redução do consumo de energia elétrica.

2.1.1 **Definições de Luminotécnica**

A definição do IDE é formada por diversas variáveis, entre elas, a variável iluminância, cuja função de pertinência e as regras de inferência devem estar conforme a legislação em vigor e as normas técnicas NBR 5101:2012.

Nesta seção são apresentadas algumas definições de luminotécnica e os níveis mínimos de iluminância para vias de tráfego motorizado e de pedestres de acordo com Marques (2006, p.213):

a) *Fluxo luminoso* - é a quantidade de luz emitida por radiação.

b) *Eficiência luminosa* - é o quociente do fluxo luminoso total emitido em lúmens pela lâmpada e a potência elétrica por ela consumida em Watts.

   Quanto maior a relação lm/W, mais eficiente é a fonte luminosa

   Unidade: lm/W

c) *Iluminância* - é definida como sendo o fluxo incidente por unidade de área iluminada. A unidade usual é o lux, definido como sendo a iluminância de uma superfície plana, de área igual a 1 m².

   Unidade: lux=lm/m²

d) *Intensidade luminosa* - é o quociente do fluxo luminoso saindo da fonte, propagando num elemento de ângulo sólido, contendo a direção dada.

   Unidade: candela – cd

e) *Luminância* - é uma medida da luminosidade que um observador percebe ao se refletir de uma superfície.

   Unidade: cd/m²

Os valores de iluminância mínima para vias de tráfego motorizado e de pedestres, recomendado pela norma NBR 5101:2012 e adaptado pela Copel (Companhia Paranaense de Energia) está apresentado no quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Limites fotométricos para vias de tráfego motorizado e de pedestres

Descrição da via	Volume de tráfego	Emin (lux)
Vias de transito rápido; vias de alta velocidade de trafego, com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de transito rápido em geral; auto-estradas.	Intenso	30
	Médio	20
Vias arteriais; vias de alta velocidade de trafego com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo.	Intenso	30
	Médio	20
Vias coletoras; vias de trafego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com trafego de pedestres elevados.	Intenso	20
	Médio	15
	Leve	10
Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial	Intenso	10
	Médio	5
Vias de uso noturno intenso por pedestres (por exemplo, calçadões, passeios de zonas comerciais).		20
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer).		10
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos).		3

Fonte: adaptação da NBR 5101:2012 efetuada pela Copel

2.1.2 **Eficiência Luminosa e Rendimento das Lâmpadas de Iluminação Pública**

Baseando-se nas informações apresentadas na justificativa do trabalho de pesquisa, analisaremos eficiência energética dos produtos destinados à iluminação.

A lâmpada elétrica converte a energia elétrica em radiação luminosa. O fluxo luminoso de uma lâmpada utiliza a unidade de medida lumens (lm).

A eficiência luminosa de uma lâmpada é dada pela relação lumem/watt (lm/w). Quanto maior o resultado da relação, lumem/watt mais eficiente é a lâmpada.

De acordo com o CBEE (Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações) (2013, p.3), as lâmpadas e luminárias LED (Ligth Emitting Diode) apresentam eficiência, rendimentos e índice de reprodução de cor elevados.

A eficiência e o rendimento para cada tipo de lâmpada estão apresentados no quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Eficiência e rendimento por tipo de lâmpadas

Tipo de lâmpada	Eficiência [lm/W]	Rendimento [%]
Incandescente	10 a 15	1,5 a 2,3
Halógenas	15 a 25	2,2 a 3,8
Mista	20 a 35	2,9 a 5,2
Vapor de mercúrio	45 a 55	6,6 a 8,2
Vapor metálico	65 a 90	9,5 a 13,3
Vapor de sódio alta pressão	80 a 140	11,7 a 20,6
LED	70 a 208	10,2 a 30,45

Fonte: Murray apud Sales

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

2.2.1 **Conceito**

Neste tópico, apresenta-se o conceito de eficiência energética de diversos autores e órgãos governamentais, devido a sua abrangência. Muitos se complementam e todos contribuíram com esse trabalho de pesquisa.

Inicialmente, segundo Ferreira (1994, p.12), eficiência energética tem significado de produtividade; pois caracteriza a redução dos desperdícios, frutos da implementação de políticas públicas na utilização racional da mesma.

Ainda segundo Ferreira (1994, p.11), eficiência energética é um conceito generalizado para descrever as medidas a serem implementadas ou que foram implementadas, bem como, os resultados alcançados consequentes da melhor utilização da energia. Portanto, o melhor uso da mesma significa a sua utilização racional, ou seja, ações que favorecem a redução dos custos dessa energia para o consumidor, numa perspectiva técnico-econômica e custo-benefício.

Saidel (2000, p.207), apresenta o conceito de eficiência energética como consequência de diversos fatores, tais como, o uso racional da energia, hábitos de consumo.

Para a EPE (2012), eficiência energética, no âmbito da lei de conservação de quantidades de energia, a definição de “energia conservada” e “conservação de energia” são sinônimos de consumo de energia poupada em decorrência da adoção de mudanças de padrão tecnológico no uso de energia, e/ou de alterações de hábitos de consumo.

Para a Abesco (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia) (2013), eficiência energética é uma atividade técnico-econômica que objetiva proporcionar o melhor consumo de energia com redução de custos operacionais correlatos; minimizar contingenciamentos no suprimento desses insumos; e introduzir elementos e instrumentos necessários para o gerenciamento energético da organização. A finalidade é reduzir o consumo por meio de medidas, tais como: substituição de dispositivos de iluminação por outros mais eficientes; utilização de sistemas de automação; iluminação somente diante de necessidades específicas; adequação de grandezas elétricas como harmônicos e fator de potência às características da operação em questão; substituição de insumo energético, por exemplo, energia elétrica por iluminação natural.

Ainda, segundo a Abesco (2013), a adoção de medidas dessa natureza, além de trazer benefícios diretos para o usuário (redução de custos, melhoria da competitividade), é igualmente benéfica para a sociedade, pois contribui para o desenvolvimento sustentável (utilização de menos recursos naturais e redução de gases de efeito estufa).

Ao longo das últimas décadas, obtiveram-se avanços significativos de eficiência energética em sistemas de iluminação devido ao avanço tecnológico da luminária e de seu controlador. O avanço tecnológico da luminária ocorreu devido ao emprego de lâmpadas utilizando a tecnologia LED. Além disso, também se dá pelo uso do controlador pelo fato de dimerizar o fluxo luminoso, disponibilizar acesso a rede de comunicação de dados e incorporar equipamentos de medição de grandezas elétricas.

Segundo Nogueira (2007), os sistemas energéticos apresentam perdas irreversíveis e toleráveis por imposições de ordem técnica e econômica e que devem ser mantidas em níveis mínimos. As ineficiências estão associadas a três grupos de causas: projeto deficiente, operação ineficiente e manutenção inadequada.

Operação ineficiente em sistemas energéticos, embora bem concebidos, ocorre devido a sua operação ser de forma incorreta, por exemplo, mantendo uma sala sem atividades com lâmpadas eficientes desnecessariamente acesas. Então, para se conseguir uma operação eficiente, pode-se utilizar ferramenta de apoio à gestão baseada em índice de desempenho e indicadores de racionalidade e eficiência do uso de energia elétrica.

Ainda segundo Nogueira (2007), a eficiência energética é o resultado potencializado e combinado de ações, associadas ao aumento de desempenho das causas mencionadas no parágrafo anterior. Por exemplo, o desenvolvimento de equipamentos mais eficientes não exclui a recomendação de sua utilização da forma mais racional, ou seja, reduzir sua utilização de forma indevida. Sob tais conceitos, é possível classificar os mecanismos de estimulo à eficiência energética em dois grandes perfis:

a) Mecanismos de base tecnológica: implicam implementar novos processos e utilizar novos equipamentos que permitam reduzir as perdas de energia;

b) Mecanismos de base comportamental: fundamentam-se em mudanças de hábitos e padrões de utilização, reduzindo o consumo energético sem alterar o parque de equipamentos conversores de energia.

Os ganhos de eficiência energética devem ser avaliados, para verificar se as alterações implementadas estão promovendo redução de consumo de energia elétrica. A seguir, estamos apresentando alguns critérios de avaliação.

As avaliações de eficiência, segundo Ferreira (1994, p.11), estão associadas aos programas de eficiência energética e combate ao desperdício promovido pelas Agências Regulatórias e aos resultados de ações da gestão energética.

Segundo a EPE (2012), pela avaliação dos ganhos de eficiência energética, no intervalo de tempo, dá-se por meio da evolução de indicadores genéricos e específicos de energia.

Neste trabalho de pesquisa, vamos focar apenas na ineficiência causada na operação do sistema de iluminação publica.

2.2.2 **A Eficiência Energética na Estratégia Energética**

De acordo com Aguiar (2004, p.41), a partir da “Crise do Petróleo”, no inicio da década de 1970, os países ricos e com maior dependência deste recurso natural, até então, abundante e barato, começaram a esboçar estratégias, para diminuir seus eventuais impactos devido à alta nos preços e embargos no fornecimento.

Dentre as diversas estratégias para minimizar esses impactos, podemos citar o desenvolvimento de programas de eficiência energética e racionalidade, maior utilização do gás natural para a geração de energia elétrica.

Ainda segundo Aguiar (2004, p.33), a eficiência energética não se refere somente ao combate ao desperdício e no desenvolvimento e aplicação de tecnologias eficientes, mas, também, diz respeito ao meio ambiente devido ao impacto ambiental, consequência do comportamento destrutivo do passado recente.

Segundo Cima (2206, p.48) citando Geller (2003), o aumento da eficiência energética, define uma estratégia, por contribuir para a redução da dependência de energia adquirida nos mercados internacionais, decrescimento do consumo dos recursos renováveis e por melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

No âmbito das estratégias energéticas, encontram-se a redução do consumo e a utilização racional e eficiente de energia.

2.2.3 **A Eficiência Energética no Consumo de Energia**

No Brasil em 2001, o Governo Federal sancionou a Lei nº 10.295 que visa à alocação eficiente de recursos energéticos, a preservação do meio ambiente e estabelece níveis mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos elétricos fabricados ou comercializados no país.

O Governo Federal Brasileiro, com relação à eficiência energética no consumo de energia, em 2000, com o apoio do Ministério de Minas e Energia, por meio da Eletrobrás, implantou o Reluz (Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes), com o objetivo de promover o desenvolvimento de sistemas de iluminação pública energeticamente eficientes. Para atingir tais objetivos, serão utilizadas tecnologias energeticamente mais eficientes e a racionalização no seu uso deverão ser observados e atendidos.

Segundo Saidel (2000, p.160), os avanços tecnológicos proporcionam maior eficiência na prestação de serviços energéticos, ou seja, menores níveis de energia consumida e menores níveis de desperdícios no uso final de energia consumida.

Ainda segundo Saidel (2000, p.160), a eficiência está diretamente relacionada com o uso final que fazemos da energia, pois hábitos de uso e cultura de consumo determinam em grande parte a quantidade de energia necessária na prestação de serviços energéticos. Portanto, essas mudanças são indispensáveis para aperfeiçoar a utilização da energia elétrica.

Melhorar a eficiência energética significa reduzir o consumo de energia primária e/ou secundária necessário para produzir um determinado serviço energético. A redução pode ocorrer em qualquer etapa da cadeia das transformações energéticas. Pode também ocorrer a substituição de uma forma de energia por outra no sistema de uso final (a substituição da eletricidade pelo gás natural em processos térmicos).

É relevante diferenciar os conceitos de racionamento do de racionalização forçada. O primeiro visa à redução do consumo energético para o mesmo serviço, e o segundo significa a redução do serviço energético.

2.3 UTILIZAÇÃO RACIONAL DE ENERGIA

Para Ferreira (1994, p.13), o conceito de utilização racional de energia refere-se às ações que tendem à redução dos custos da energia para o consumidor e para a economia. Isso numa perspectiva técnico-econômica[3] e custo-benefício[4].

A utilização racional da energia é uma das formas mais eficazes no enfrentamento aos efeitos da "crise de energia", pois implica esforços no sentido de: realizar economias de energia a fim de obter o melhor rendimento possível na utilização de todas as formas de energia; valorizar a utilização de fontes primárias (gás natural, petróleo, eletricidade) e favorecer a substituição de uma forma de energia por outras formas em condições técnico-econômicas mais satisfatórias.

2.4 TARIFAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Costa (2006, p.106), "o preço público da eletricidade, ou tarifação, é a prestação a pagar por um serviço não obrigatório" estipulado pela Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) e acompanhado pela Eletrobrás.

A Aneel é uma autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia cujas atribuições consistem em regular e fiscalizar a geração, a transmissão, a distribuição e a comercialização. Sendo assim, garantindo tarifas de energia elétrica correta e a qualidade dos serviços fornecidos pelos concessionários aos consumidores.

2.4.1 **Conceitos e Definições**

A seguir, os principais conceitos e definições que são utilizados na estrutura tarifária, segundo Marques (2006, p.154).

---

[3]Técnico-econômica: é uma técnica analítica para avaliar a rentabilidade do projeto em termos de fluxo de caixa e o período de recuperação do investimento, em comparação com várias alternativas.

[4]Custo-benefício: é uma técnica analítica que enumera e comparam os custos líquidos de uma intervenção, com os benefícios decorrentes dessa intervenção, expressos em unidades monetárias.

a) Energia Elétrica Ativa - é responsável pela realização do trabalho durante qualquer intervalo de tempo, usualmente expressa em quilowatt-hora (kWh).

b) Energia Elétrica Reativa – é responsável para criar os fluxos de campos elétrico e magnético em sistemas de corrente alternada, não é responsável direta pela realização do trabalho, usualmente expressa em quilovolt-ampère-reativo-hora (kVArh).

c) Demanda - é a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado.

No Brasil, para fim de faturamento de energia elétrica, o intervalo de tempo (período de integração) são 15 minutos.

d) Demanda Máxima - é a demanda de maior valor verificada durante certo período.

e) Demanda Média - é a relação entre a quantidade de energia elétrica consumida (kWh) durante certo período.

f) Demanda Medida - é a máxima demanda de potência ativa verificada por medição ao longo do mês. Basta o consumidor deixar todos os seus aparelhos ligados por 15 minutos que pagará a demanda como se eles tivessem permanecido ligados o mês todo.

g) Demanda Contratada - é a demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária para o consumidor. Isso ocorre de acordo com o valor e o período de vigência fixada no contrato de fornecimento, que deverá ser paga mesmo que não utilizada, durante o período de faturamento. Usualmente expressa em quilowatts (kW).

h) Demanda Faturável - é o valor de demanda de potência ativa, identificada de acordo com os critérios para fins de faturamento. Usualmente, compara-se a demanda contratada e a demanda medida e adota-se como demanda faturável a de maior valor.

i) Horário de Ponta - *s*egundo a Aneel, o horário de ponta corresponde ao período de 3 horas diárias consecutivas, definido pela concessionária, de segunda à sexta feira, das 18h às 21h.

2.4.2 **Tensão Elétrica de Fornecimento**

De acordo com Marques (2006, p.160), as condições de fornecimento de energia elétrica são estabelecidas pela Resolução Aneel nº 456, em que os consumidores são divididos em diversos grupos, sendo que cada grupo tem uma tensão de fornecimento de energia elétrica.

O grupo A (alta tensão) recebe a tensão de alimentação igual ou superior a 2,3 kv, e está dividido em subgrupos, conforme apresentado no quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Tensão elétrica de alimentação do subgrupo A

Subgrupo A1	Subgrupo A2	Subgrupo A3	Subgrupo A4	Subgrupo AS
230kvouMais	88kva138kv	69kv	2,3kva25kv	Redes elétricas Subterrâneas

Fonte: Marques (2006, p. 160)

O grupo B (baixa tensão) recebe a tensão de alimentação igual ou inferior a 2,3kv, está dividido em subgrupos, conforme apresentado no quadro 2.4.

Quadro 2.4 – Tensão elétrica de alimentação do subgrupo B

Subgrupo B1	Subgrupo B2	Subgrupo B3	Subgrupo B4
Residencial	Rural,Cooperativa de Eletrificação Rural e Serviço Público de Irrigação	Demais Classes	Iluminação Pública

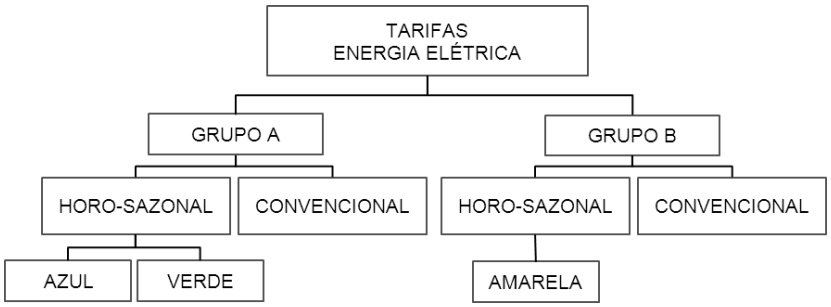
Fonte: Marques (2006, p. 160)

2.4.3 **Estrutura Tarifária**

A estrutura tarifária está apresentada na figura 2.1.

Para a finalidade de faturamento, os consumidores são agrupados em dois grupos tarifários, o grupo A (alta tensão) e o grupo B (baixa tensão).

Figura 2.1 - Estrutura tarifária



Fonte: Marques (2006)

Marques (2006, p.162), relata-nos que a Estrutura Tarifária Convencional é aplicada em baixa e alta tensão. Além disso, é caracterizada pela aplicação de tarifa única de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independente das horas de utilização do dia e dos meses do ano.

Marques (2006, p.162), ainda afirma que a Estrutura Horo-Sazonal aplicada em baixa e alta tensão é caracterizada pela aplicação de tarifa única de consumo de energia elétrica e demanda de potência. Isso ocorre de acordo com as horas de utilização do dia e dos meses do ano conforme especificação a seguir:

a) Tarifa Verde - segundo CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais S.A.) (2011), é uma modalidade que só pode ser aplicada as unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69kv (A3, A4 e AS), sendo necessário um contrato específico.
b) Tarifa Azul - de acordo com CEMIG (2011), é considerada a modalidade tarifária que tem aplicação compulsória para as unidades consumidoras atendidas em tensão igual ou superior a 69kv (A1, A2 e A3), sendo opcionais para demais consumidores. Exige um contrato específico entre a distribuidora de energia e o consumidor.

A partir de 02/03/2001, a Aneel por meio da resolução nº 1.858, introduz o sistema de bandeiras tarifárias que refletem os custos variáveis na geração de energia elétrica. O sistema possui três bandeiras:

a) Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
b) Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo para cada quilowatt-hora (kWh) consumido;
c) Bandeira Vermelha: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo, superior ao acréscimo da bandeira amarela para cada quilowatt-hora (kWh) consumido.

2.5 ÍNDICE DE DESEMPENHO E INDICADORES DE USO DE ENERGIA ELÉTRICA

2.5.1 **Conceito de Índice e Indicador**

Para Parente (2007, p.83), o termo indicador origina-se do idioma latino e significa descobrir, apontar, estimar. No idioma português, indicador significa aquilo que indica, sugere, guia, expõe.

Para Hammond (1995, p.9), o indicador é entendido como algo que fornece informações para uma questão de maior significado e torna perceptível uma tendência que não é imediatamente detectável, por exemplo, o fator de potência baixo sinaliza baixa eficiência energética. Assim, o significado do indicador estende-se para além do que é realmente medido no processo de interesse.

Segundo Melo (2008), apud (Silva 2010, p.53), o indicador é o encarregado de exprimir a informação, na forma mais simples possível, a situação que se deseja avaliar.

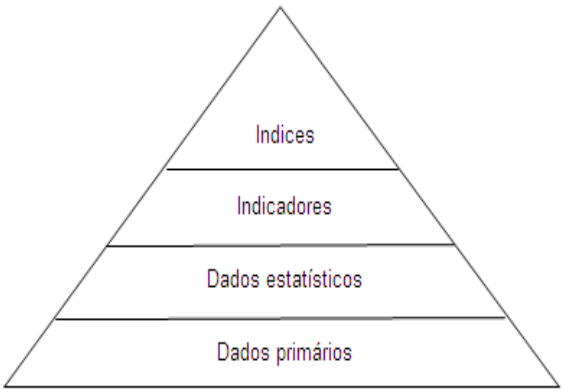
Neste trabalho de pesquisa, o indicador é embasado em medidas que quantificam determinado parâmetro do processo, permitindo estabelecer padrões para análise de desempenho.

Parâmetro é um dado considerado relevante para analisar a situação em que se encontra o processo. A análise de desempenho é feita por meio da diferença entre o valor do parâmetro desejado e o medido.

De acordo com Silva (2010, p.54), um indicador pode ser definido como uma relação entre parâmetros que fornecem informações a respeito de um processo, permitindo observar alterações, causadas por diferentes motivos.

Hammond (1995, p.9), apresenta uma pirâmide de informações que relaciona dados primários, indicadores e índices, conforme figura 2.2.

Figura 2.2 – Pirâmide de informações



Fonte: Environmental Indicators

Na figura 2.2, de acordo com Carvalho (2009, p.4), a base da pirâmide, denominada de dados primários é formada por uma grande diversidade e quantidade de dados. Os dados estatísticos são a sumarização dos dados primários.

Dados estatísticos é a transformação de um conjunto de dados primários dispersos, em informações ordenadas, utilizando-se distribuições em frequências.

Ainda contextualizando a figura 2.2, os indicadores correspondem a um nível mais elevado de agregação dos dados estatísticos, de acordo com o parâmetro selecionado para observar e analisar o comportamento do processo.

Indicador é uma medida, geralmente estatística, usada para traduzir quantitativamente um conceito abstrato e informar algo sobre determinado aspecto do processo objetivando formulação, monitoramento e avaliação, com a finalidade de determinar se o processo está dentro dos valores aceitáveis.

De acordo com Saab (2000), devem-se obter índices confiáveis com a necessidade de representatividade de uma população amostral, uma vez que o indicador é elaborado segundo critérios técnicos e estatísticos, obtidos sobre dados amostrais.

Segundo Bellen (2006, p.50) apud (Silva 2010, p.55), os requisitos para a utilização e aceitação de um indicador, desde que seja inteligível e mensurável, deve apresentar disponibilidade de dados, metodologia de coleta e a estatística dos dados. Os mesmos devem ser padronizados e legitimados pelos tomadores de decisão.

Os indicadores podem ser classificados como analíticos, quando são constituídos de uma única variável, ou sintéticos, quando são resultantes de uma composição de variáveis.

Encerrando a análise da figura 2.2, o índice corresponde ao nível de agregação dos indicadores, obtendo o valor final. O método de agregação pode ser aritmético (valor máximo, valor mínimo) ou heurístico (regras de inferência).

O índice é calculado por um conjunto de indicadores. Representa o padrão de medida ou unidade de medida dos indicadores, permitindo uniformidade, estabelecimento de metas e acompanhamento.

2.5.2 **Finalidades dos Índices e Indicadores**

A construção de indicadores possibilita as comparabilidades, estimulam as iniciativas e orientam as ações.

Para Ishikawa, o indicador deve estar associado ao método gerencial (método de solução de problemas), ou seja, é um “item de gerenciamento”, porque está relacionado com a função da administração, é utilizado para estabelecer metas, padronizar ações no caso de sucesso (quando as metas são atingidas), ou tomar ações corretivas no fracasso. Resumindo: um indicador deve sinalizar uma ação gerencial.

Ainda citando Ishikawa, um indicador está sempre associado ao processo. Para Ishikawa, processo é um conjunto de causas, as mesmas nem sempre estão em linha, portanto, um conjunto de meios provoca um determinado fim que medimos e chamamos de indicador (ou item de controle ou ainda item de gerenciamento). Portanto, um indicador mede a característica de um processo.

Os indicadores de produtividade estão relacionados aos fatores internos do processo. Eles são utilizados para medir a utilização de recursos e representam a eficiência na produção de produtos/serviços. O aumento do valor desse indicador significa otimização do uso do recurso e diminuição de custos.

De acordo com Martins (2006, p.13), nos sistemas físicos o desempenho está relacionado com sua eficiência.

Neste trabalho de pesquisa, os elementos: IDE e o indicador de desempenho são sinônimos, e são desenvolvidos para cada tipo de sistema de acordo com a metodologia utilizada.

De acordo com a FPNQ (Fundação para o Premio Nacional da Qualidade) (1995) apud Mafra (1999, cap. 3), o indicador de desempenho é uma relação matemática que mede, numericamente, atributos de um processo ou seus resultados, com o objetivo de comparar esta medida com metas numéricas pré-estabelecidas.

De acordo com Callado (2007, p.3), os indicadores são elementos essenciais para avaliar o desempenho do processo, assim como a definição de indicadores que melhor representem o desempenho geral de uma empresa.

Segundo Saab (2000), o indicador de desempenho é uma informação quantitativa representativa referente ao grau de eficiência atingido por um sistema, tornando-se um parâmetro fundamental para a tomada de decisões.

Segundo De Rolt (1998, cap. 3), o indicador de desempenho tem a finalidade de medir uma situação real para ser comparada com um padrão pré-estabelecido de forma clara e objetiva.

Para Carregaro (2003, p.7), a finalidade do uso de indicadores de desempenho é para mensurar e analisar os resultados de um processo para tomada de decisão.

De acordo com Aquino (2001, p.21) apud Carregaro (2003, p.7), para a obtenção da eficiência, o gestor deve fazer a tomada de decisão baseando-se em indicador de desempenho. Para garantir a eficiência do indicador de desempenho, os modelos de mensuração de seus parâmetros devem representar fidedignamente a realidade do sistema objeto de análise.

2.5.3 **Indicadores de Eficiência Energética**

Para Ferreira (1994, p.16), os indicadores de eficiência energética são definidos por meio de relações de variáveis com o objetivo de monitorar as variações e desvios na eficiência energética dos sistemas.

Segundo Ferreira (1994, p.17), os indicadores de eficiência energética podem ser classificados em duas categorias dependendo de seus objetivos: indicadores energéticos descritivos e os explicativos.

Os indicadores energéticos descritivos objetivam expor a situação da eficiência energética, num determinado momento, sem relatar os motivos dos desvios de desempenho em relação aos valores pré-estabelecidos.

Os indicadores energéticos explicativos objetivam relatam os motivos que contribuem pelos desvios ocorridos nos indicadores de desempenhos descritivos. Os motivos podem ser tecnológicos, comportamentais e de manutenção.

Ainda citando Ferreira (1994, p.18), os indicadores descritivos e explicativos podem ser definidos levando em consideração dois critérios, econômico e técnico-econômico.

O critério econômico é utilizado quando a eficiência energética é medida em um elevado nível de agregação de sistemas, não sendo possível definir indicadores técnicos ou físicos. Este critério mede a produtividade energética da economia, da empresa e da universidade.

O critério técnico-econômico é utilizado quando a eficiência energética é medida em baixo nível de agregação, ou seja, conjunto de atividades e utilização final da energia, sendo possível definir indicadores técnicos ou físicos Este critério é usado para definir indicadores técnico-econômicos, relacionando o consumo de energia com um indicador e atividade medidos em unidades físicas.

De acordo com Saidel (2000, p.207), os índices e os níveis de eficiência energética são os meios para se analisar a eficiência energética, sendo definidos de acordo com propósito do estudo. Portanto devem-se usar parâmetros e indicadores que, relacionados, expressam a realidade e que permitam obter resultados coerentes.

Ainda conforme Saidel (2000, p.208), indicadores e níveis de eficiência energética são valores que relacionam grandezas energéticas e econômicas,

permitindo analisar a utilização de recursos energéticos e respectivos rendimentos no setor de consumo.

Os índices de desempenho de sistemas, processos e equipamentos são valores utilizados na avaliação qualitativa e quantitativa da eficiência energética de seus usos finais.

No capitulo que aborda a metodologia serão apresentados os indicadores globais e específicos do uso de energia elétrica.

2.6 LÓGICA NEBULOSA

2.6.1 **Introdução**

De acordo com Cavalcanti (2012, p.8), lógica é a arte de guiar o pensamento, em suas várias direções, para impedir o homem de cometer erros. Portanto, a lógica é um instrumento para guiar o pensamento.

A lógica binária desenvolvida por Aristóteles é baseada em um conjunto de regras para que a conclusão seja aceita como válida (verdadeira). Neste tipo de lógica, a proposição ou é completamente verdadeira ou é completamente falsa, não há possibilidade de a proposição ser ou parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa.

O raciocínio, que se baseia na dedução, é composto de um argumento e uma conclusão. O argumento tem duas premissas, a primeira premissa é a condição “se-então”, significa “P” implica “Q”, a segunda premissa é que “P” é verdadeira. Uma das formas de representar é mostrada abaixo.

Se “P” então “Q”

“P” é verdadeiro

“P” portanto Q é verdadeiro

A lógica nebulosa proposta por Zadeh, em seu artigo *Fuzzy Sets* publicado em 1965, é uma generalização da lógica aristotélica, pois a premissa pode ser parcialmente verdadeira ou falsa. Com isto, é possível inferir baseando-se em informações vagas e imprecisas.

Conforme Shaw (1999, p.4), a modelagem de plantas e processos é necessária por ser uma forma de experimentos mais segura, fácil e menos custosa à utilização das plantas reais. Há três métodos de modelagem: experimental, matemática e heurístico.

Neste trabalho de pesquisa foi utilizado o método heurístico. O método heurístico consiste em se realizar uma tarefa de acordo com conhecimento prévio, com regras pragmáticas e estratégias eficazes. A regra heurística é suposição lógica na seguinte forma:

se <condição> então <consequência>

em sistema de controle, pode-se escrever uma linha de regra heurística no formato:

se <variável de entrada = (condição)> então <variável de saída = (ação)>

As relações entre as variáveis de entradas e saídas são descritas por meio de expressões linguísticas, tais como, baixo, médio e alto. Então, as restrições de parâmetros incertos, desconhecidos ou variantes no tempo e não linearidade entre as variáveis, presentes na modelagem matemática, não são relevantes no método heurístico.

2.6.2 **Fundamentos Básicos**

Zadeh (1965, p.338), apresenta a teoria dos conjuntos em que tal conjunto é formado por uma classe de elementos caracterizados por uma função de pertinência continua μ_A (x), que atribui a cada elemento um grau de pertinência que pode variar entre zero e um. Quando o valor do grau de pertinência for igual a um, o elemento pertence integralmente ao conjunto analisado; quanto mais próximo de um, maior é a sua pertinência; quando o valor for 0, ele não pertence ao conjunto.

De acordo Shaw (1999, p.8), o surgimento da lógica nebulosa foi estimulado pela necessidade de um método capaz de expressar de uma maneira sistemática quantidades imprecisas e mal definidas.

A lógica nebulosa é um método de modelagem capaz de traduzir o conhecimento experimental (condições operacionais por meio de combinação de leitura de instrumentos, status do processo por sinais luminosos, ações de controle) de operadores humanos treinados em plantas industriais não completamente compreendidas, processos mal definidos e sistema de dinâmica desconhecida, em uma forma compreensível pelos controladores computadorizados, possibilitando tomadas de decisão, devido à facilidade da implementação das estratégias.

A metodologia de modelagem nebulosa está focada somente no comportamento (conhecimento e experiência) do operador, enquanto a dinâmica e parâmetros da planta são irrelevantes, isto é, como o operador raciocina e ajusta os parâmetros de controle para determinadas circunstâncias.

De acordo com Shaw (1999, p. 13), a lógica nebulosa utiliza o atributo de multivalência, isto é, reconhece um número infinito de opções. E que a verdade é uma questão de ponto de vista, definindo a veracidade dentro de um intervalo numérico [0;1]. Assim, o objetivo da lógica nebulosa é trabalhar com incertezas das modelagens de plantas e processos de controle.

2.6.3 **Universo do Discurso**

Segundo Shaw (1999, p.23), o universo de discurso é um conjunto de valores que contém todos os subconjuntos nebulosos.

2.6.4 **Variável Linguística**

De acordo com Miranda (2003, p.12), variável linguística é uma grandeza utilizada para representar, de modo vago, uma variável do problema que está sendo modelado. Esta variável admite como valores, apenas palavras em uma linguagem natural (alto, médio, baixo) e que se diferenciam dos valores exatos (precisos) gerados por uma variável numérica.

Shaw (1999, p.24), afirma que uma variável linguística x no universo de discurso U é definida em um conjunto de termos, sendo cada termo lingüístico nebuloso.

A variável linguística é formada por uma quíntupla:

a) x: nome da variável
b) T(x): conjunto dos valores linguísticos de x
c) U: universo de discurso em que se define T(x)
d) G: regra sintática para gerar os nomes dos valores de x
e) M: regra semântica para associar cada valor a seu significado

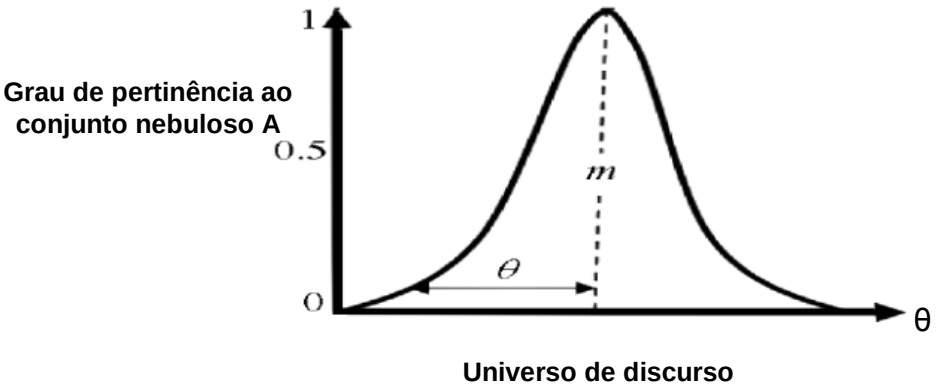
Conforme Tanscheit (2004, p.7), o valor de uma variável linguística é um termo linguístico resultado da ligação de outros termos. Esses termos podem ser classificados em 4 classes: termos primários, conectivos, modificadores e marcadores.

Termos primários são etiquetas (nomes) de conjunto nebuloso especificado em um determinado universo (por exemplo: alto, médio, baixo) e apresentam funções de pertinência ou continua, ou descontinua, ou discretizada. Funções de pertinências contínuas são definidas por meio de funções analíticas. Por exemplo: a função de pertinência gaussiana para um conjunto nebuloso em que “Ɵ” é o desvio

padrão e “m” é o valor médio conforme a equação (2.5) e representação na figura 2.3.

$$\mu_A(x) = e^{-\frac{1}{2}\frac{(x-m)^2}{\theta^2}} \quad \textbf{(2.5)}$$

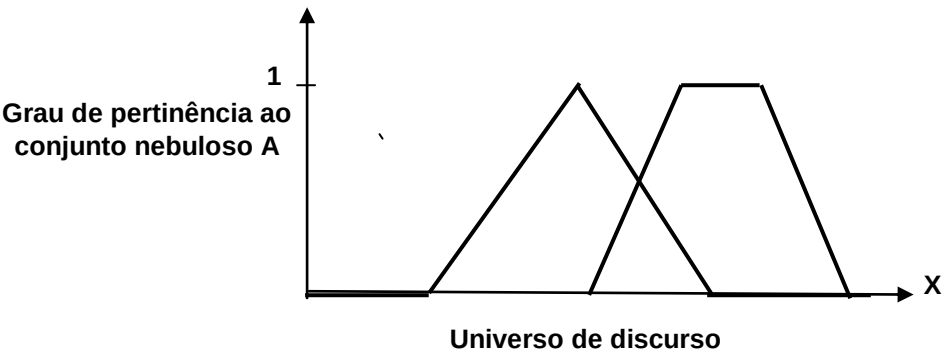
Figura 2.3 - Função de pertinência gaussiana



Fonte Controle e Modelagem Nebulosa

Funções de pertinências descontínuas são compostas de segmentos lineares, resultando em formas triangular e trapezoidal, e estão apresentadas na figura 2.4, e de acordo com Shaw (1999, p.47), são os formatos mais frequentes.

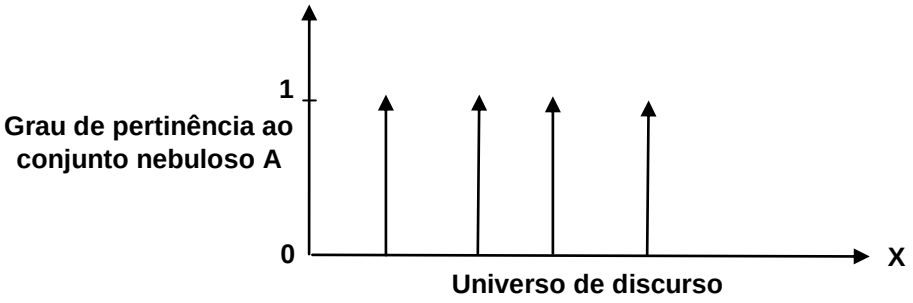
Figura 2.4 - Função de pertinência triangular e trapezoidal



Fonte Controle e Modelagem Nebulosa

Funções de pertinência discretizadas constituem de conjuntos de valores discretos do universo trapezoidal e estão apresentadas na figura 2.5.

Figura 2.5 - Função de pertinência discretizada



Fonte: Controle e Modelagem Fuzzy

Os conectivos são “e” e “ou”. O conectivo “e” é usado com variáveis linguísticas de diferentes universos:

$A = \{ \mu_A (x) / x\} \quad x \in X$

$B = \{ \mu_B (y) / y\} \quad y \in Y$

$A \text{ e } B = \{ \mu_A (x) \wedge \mu_B (y) / (x,y) \}$

O conectivo “ou” conecta valores linguísticos de uma mesma variável linguística, os quais pertencem ao mesmo universo:

$A = \{ \mu_A (x) / x\} \quad x \in X$

$B = \{ \mu_B (x) / x\}$

$A \text{ ou } B = \{ \mu_A (x) \vee \mu_B (x) / (x) \}$

Modificadores são termos usados para gerar um conjunto mais amplo de valores linguísticos, a partir do termo primário; para uma variável linguística, por exemplo: muito, pouco, levemente.

2.6.5 **Conjunto Nebuloso**

O conceito de conjunto nebuloso está associado a um subconjunto A, de um conjunto universo U, se for descrito como um conjunto de pares ordenados segundo o que segue:

$A= \{(x , (\mu_A (x)); \quad x \in U \quad \mu_A (x) \in [0,1])\}$

onde:

$\mu_A (x)$ é uma função de pertinência que determina com que grau x está em A.

$\mu_A (x) = 1$ x pertence integralmente ao conjunto A

$0 < \mu_A (x) < 1$x pertence parcialmente ao conjunto A

$\mu_A (x)=0$ x não pertence ao conjunto A

O valor de pertinência (μ_A) indica o quanto que o elemento x é compatível com o conjunto nebuloso A. Esse elemento pode pertencer a mais de um conjunto nebuloso, com diferentes graus de pertinência.

Ainda citando Shaw (1999, p.46), o conjunto nebuloso é caracterizado (construído) por sua função de pertinência. A função de pertinência é numérica, podendo ser representada de forma gráfica ou tabela, que imputa valores de pertinência para os valores discretos de uma variável. Na representação gráfica, o eixo vertical representa o grau de pertinência [0;1] e o eixo horizontal a variável.

Os conjuntos nebulosos construídos a partir das funções de pertinência podem ser: triangular, trapezoidal, discreta, gaussiana.

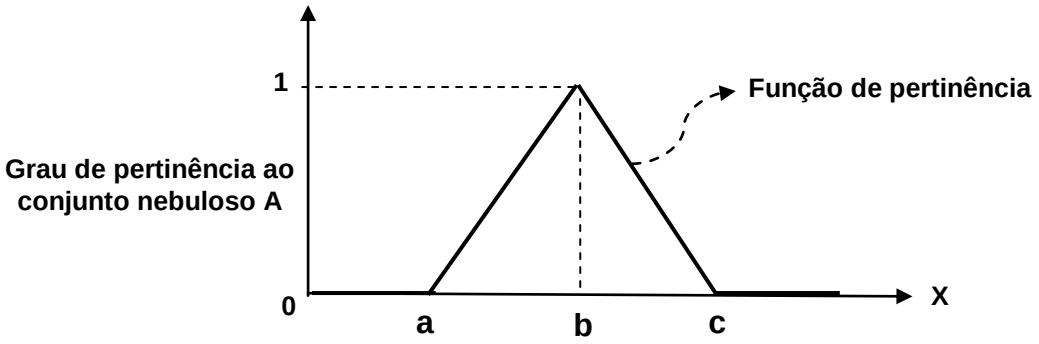
De acordo com Tuksen citado Caneppele (2011, p.49), escolher a forma de cada conjunto nebuloso é relevante para a elaboração de modelo nebuloso. Para a construção dos conjuntos nebulosos, os graus de pertinência são determinados pelos métodos a seguir:

a) *Dedução subjetiva* - as curvas de pertinência são traçadas baseando-se no conhecimento de especialistas;
b) *Medidas físicas* - as curvas de pertinência são traçadas por meio de medidas físicas das variáveis de controle;
c) *Formas "Ad Hoc"*- as curvas de pertinência são traçadas na forma de histograma de frequência ou curvas de probabilidade. Deve-se observar que as funções de pertinência não são probabilidades.

Segundo Caneppele (2011, p. 50), o conjunto nebuloso A é dito triangular, conforme a figura 2.6, se sua função de pertinência $\mu(x)_A$, para $a < b < c$,for da forma:

$$\mu(x)_A \begin{cases} 0 & \text{se} \quad x \leq a \\ \frac{x-a}{x-b} & \text{se} \quad a < x \leq b \\ \frac{x-c}{b-c} & \text{se} \quad b < x \leq c \\ 0 & \text{se} \quad x > c \end{cases}$$

Figura 2.6 - Conjunto nebuloso triangular

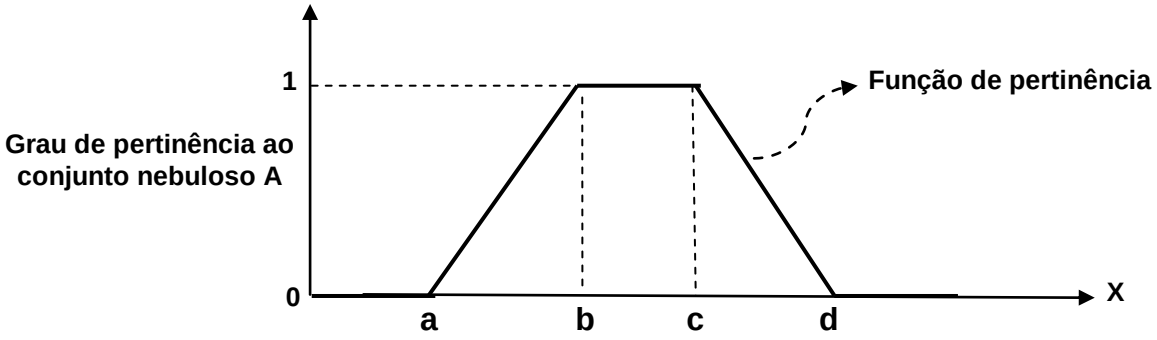


Fonte: Controle e Modelagem Fuzzy

Segundo Caneppele (2011, p. 50), o conjunto nebuloso A é dito trapezoidal conforme a figura 2.7, se sua função de pertinência, para $a < b < c < d$, for da forma.

$$\mu_A(x) \begin{cases} 0 & \text{se} \quad x \leq a \\ \frac{x-a}{x-b} & \text{se} \quad a < x \leq b \\ 1 & \text{se} \quad b < x \leq c \\ \frac{x-c}{b-c} & \text{se} \quad c < x \leq d \\ 0 & \text{se} \quad x > d \end{cases}$$

Figura 2.7 – Conjunto nebuloso trapezoidal

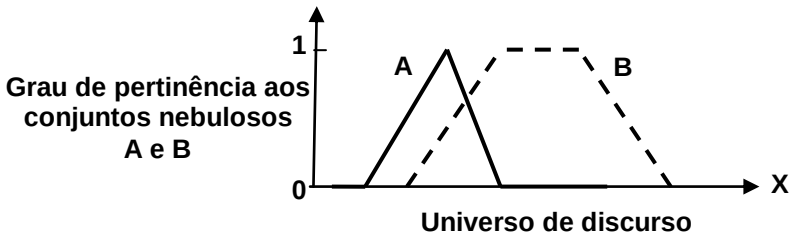


Fonte: Controle e Modelagem Fuzzy

2.6.6 **Operações com Conjuntos Nebulosos**

Dados dois conjuntos nebulosos denominados A e B, conforme a figura 2.8, sobre um universo X e caracterizados pelas respectivas funções de pertinência $\mu_A(x)$, $\mu_B(x)$, são definidas as operações:

Figura 2.8 – Conjuntos nebulosos A e B



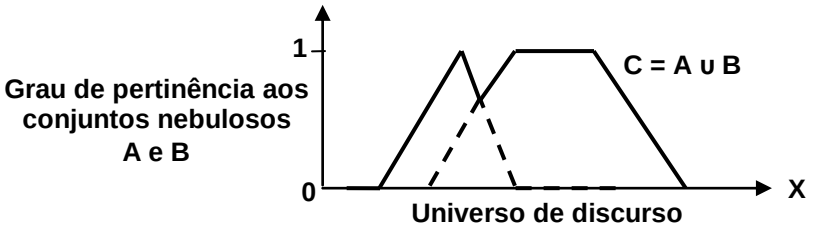
Fonte: Controle e Modelagem Fuzzy

a) União - a união de dois conjuntos nebulosos A e B, ilustrados da figura 2.8, é um conjunto nebuloso C, onde C= AUB, conforme a figura 2.9.

$$\mu_C(x) = \mu(A(x) \cup B(x)) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \text{ para todo } x \in U$$

Então, o grau de pertinência da união entre conjuntos nebulosos é o maior valor de pertinência dos conjuntos sobre um universo X.

Figura 2.9 - União de dois conjuntos n*ebulosos* A e B



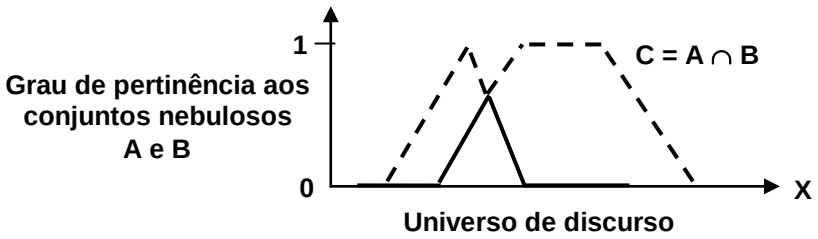
Fonte: Controle e Modelagem Fuzzy

b) Intersecção - interseção de dois conjuntos nebulosos A e B, ilustrados na figura 2.8, é um conjunto nebuloso C, conforme a figura 2.10, onde C= A∩B.

$\mu c(x) = \mu(A(x) \cap B(x)) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$ para todo $x \in U$

Então, o grau de pertinência da Intersecção entre conjuntos nebulosos é o menor valor de pertinência dos conjuntos sobre um universo x.

Figura 2.10 - Intersecção de dois conjuntos *nebulosos* A e B

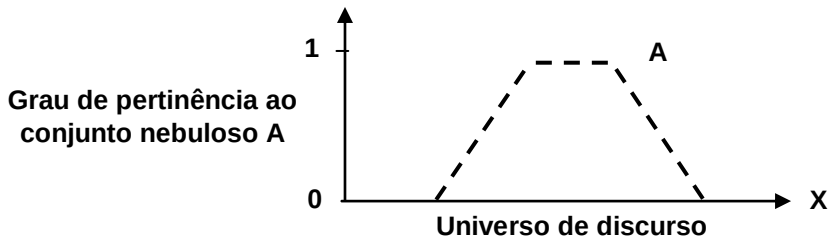


Fonte: Controle e Modelagem Fuzzy

c) Complemento - dado o conjunto nebuloso A, apresentado na figura 2.11, diz-se que C, é conjunto nebuloso complemento do conjunto nebuloso A caso C for caracterizado pela função de pertinência, onde C = A^c,conforme a figura 2.12.

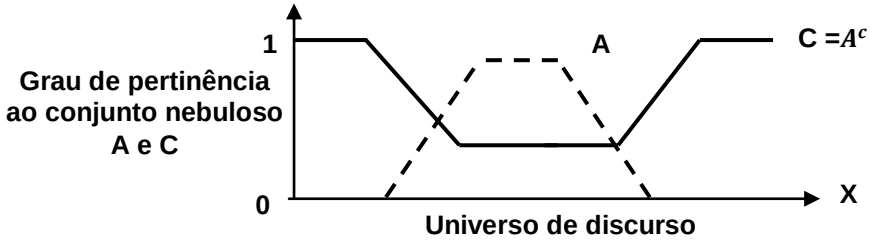
$\mu_D(x) = 1 - \mu(_A(x)$

Figura 2.11 - Conjunto nebuloso A



Fonte: Controle e Modelagem Fuzzy

Figura 2.12 - Conjunto nebuloso complementar



Fonte: Controle e Modelagem Fuzzy

2.6.7 **Regras de Inferência Nebulosa**

Segundo Shaw (1999, p.57), há dois tipos de regras de inferências (regra de dedução ou consequência a partir de premissas ou condições):

a) modus ponens ou modo afirmativo

premissa 1: u=A

premissa 2: se u=A então y=B

consequência y=B

b) modus tollen ou modo negativo

premissa 1: u=não A

premissa 2: se u=A então y=B

consequência y=não B

Ainda de acordo com Shaw (1999, p.58), nos sistemas nebulosos, a inferência que relaciona conjuntos nebulosos é:

Se<condições> então <conclusão>

As <condições> relacionam-se a valores nebulosos linguísticos de uma ou mais variáveis.

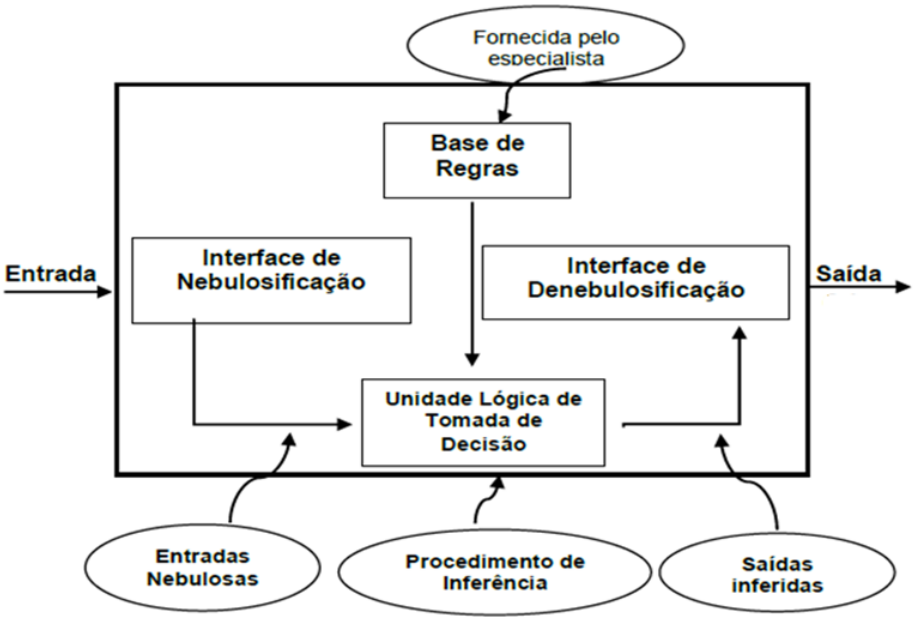
2.6.8 **Sistema de Inferência Nebulosa**

Como em qualquer processo de modelagem, deve-se inicialmente determinar as variáveis de entrada e saída do processo que se deseja controlar. Em seguida, construir de um sistema de controle nebuloso, que consiste na aquisição do conhecimento sobre o processo.

Shall em (1999, p.45), relata que um controlador baseado em regras nebulosas é composto por quatro blocos funcionais: interface de nebulosificação, base de conhecimento, lógica de tomada de decisão e interface de denebulosificação.

De acordo com Shaw (2007, p. 4), essa estrutura do controlador representa a transformação que ocorre do domínio do mundo real, que utiliza números reais, para o domínio de números nebulosos. Nessa transformação, o conjunto de inferências nebulosas é utilizado para fazer a tomada de decisão. Na saída ocorre a transformação do número nebuloso para o domínio real, para que ocorra a ligação entre a saída do algoritmo nebuloso e as variáveis de atuação.

Figura 2.13 - Arquitetura básica de um sistema de inferência nebulosa



Fonte - Tanscheit (2004)

A figura 2.13 mostra a arquitetura básica, na forma de diagrama de bloco, de inferência nebulosa. As descrições dos blocos que constituem um controlador nebuloso estão apresentadas a seguir:

a) *Interface de nebulosificação* - segundo Shaw (2007, p. 45), nesta interfase ocorre o processamento de conversão dos valores provenientes do mundo real, para número nebuloso, por meio de funções de pertinência contida na base de conhecimento, em um intervalo [0;1] que está associado a um valor linguístico.
b) *Base de regras* – ainda segundo Shaw (2007, p. 45), a base de regras caracteriza os objetivos e a estratégia de controle, utilizada pelo especialista do sistema objeto de estudo, por meio de um conjunto de regras nebulosas, associando as entradas com as saídas.

O conjunto de regras é do tipo se-então, representadas na forma:

R1: se x1 é A1 e x2 é A2 então y é B1

c) *Lógica de tomada de decisão* – conforme Shaw (2007, p. 45), utiliza a estrutura de inferência e implicações nebulosas para simular a tomada de decisão segundo o especialista, a partir de condições de entrada - antecedentes e gerar ações - consequentes.

Segundo Caneppele (2011, p. 48), o modelo de inferência que reproduz o conhecimento humano é o modelo proposto pela lógica nebulosa, por esse motivo foi o modelo adotado neste trabalho de pesquisa.

De acordo com Gabriel (2008, p.37), o modelo de inferência proposto por Mamdani, associa as regras por meio de conectivo lógico “ou”, e em cada regra os números nebulosos são associados pelos conectivos “e” e “então”.

Para exemplificar o método de inferência proposto por Mamdani apresento duas regras genéricas, do tipo que pertencem à base de regras, cada uma com duas entradas e uma saída. Onde *x1* e x2 são variáveis linguísticas relacionadas ao estado do processo e y é a variável linguística de saída; *A1*, *A2*, *B1, B2, C1 e C2* são conjuntos nebulosos de *x1*, x2e y nos universos de discurso *U*, *V* e *W*, respectivamente.

Antecedente: *x1* é *A1* e x2é B2

Regra (R1): “se”*x1* é *A1* *“*e” x2é A2*“*então” yé C*1*

Antecedente: *x1* é *A2*e x2é B2

Regra (R2): “se”*x1* é *A2“*e” x2é B2*“*então” yé C2

De acordo com Shaw (2007, p.60), o primeiro passo do método de inferência consiste na utilização do operador *min* (mínimo) que corresponde ao conectivo “e” de acordo com as regras de intersecção nebulosa. Esta operação é de agregação.

$$\mu_{F1} = \min [\mu_{R1}(x1), \mu_{R2}(x2)]$$

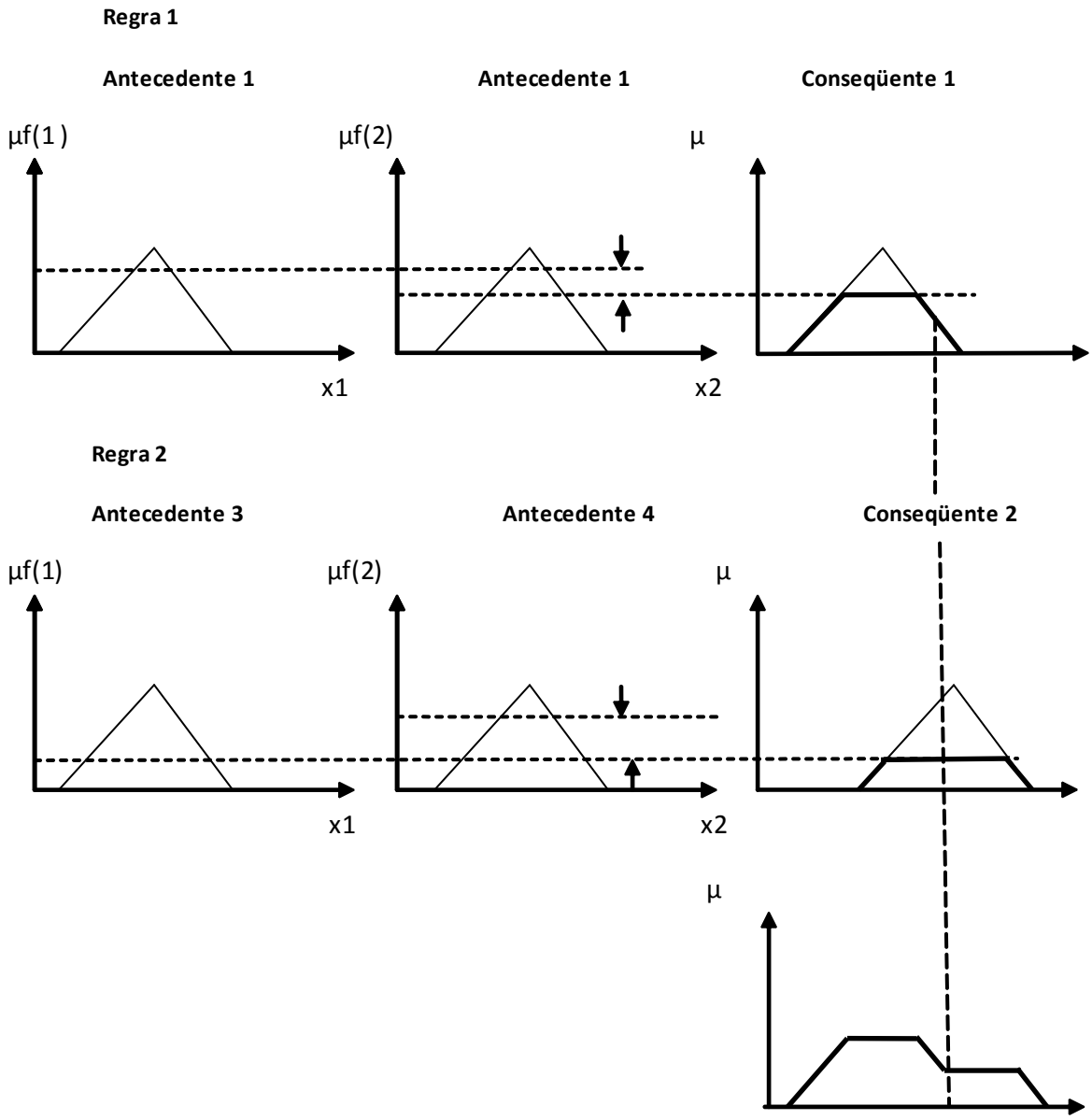
$$\mu_{F2} = \min [\mu_{R1}(x1), \mu_{R2}(x2)]$$

O segundo passo consiste na utilização do operador *max*(máximo) que corresponde ao conectivo “ou” de acordo com as regras de intersecção nebulosa. O operador *max* gera o contorno comum aos dois conjuntos nebulosos.

$$\mu_{F3} = \max[\mu_{F1}(y), \mu_{F2}(y)]$$

A seguir, é apresentada na figura 2.14, um exemplo do cálculo de inferência nebulosa segundo modelo proposto de Mamdani.

Figura 2.14 - Sistema de Inferência nebulosa Mamdani



Fonte:Autor

d) *Interface de denebulosificação* – é o processador de saída cuja função consiste em converter o valor da variável linguística inferida pelas regras nebulosas em um único valor real.

Os métodos de denebulosificação são:

- *Média dos Máximos* (M-o-M) – o valor do termo de saída n*ebuloso* é calculado pela média de todos os máximos das funções de pertinência. Este método apresenta deficiência por desconsiderar o formato das funções de pertinência
- *Centro da Área* (C-o-A) - o valor do termo de saída n*ebulosa* é calculado pelo centróide da área resultante da união de todas as contribuições de regras. Este método apresenta deficiência quando ocorre superposição de áreas das funções de pertinência.
- *Centro do Máximo* (C-o-M) - o valor do termo de saída n*ebulosa* é calculado baseado nos picos das funções de pertinência. Este método apresenta deficiência por desconsiderar o formato e a superposição das funções de pertinência.

Segundo Gabriel (2008, p. 39) a técnica de denebulosificação mais comumente utilizada é centróide, e também é compreendido como média ponderada onde μa(x) tem significado de peso do valor x.

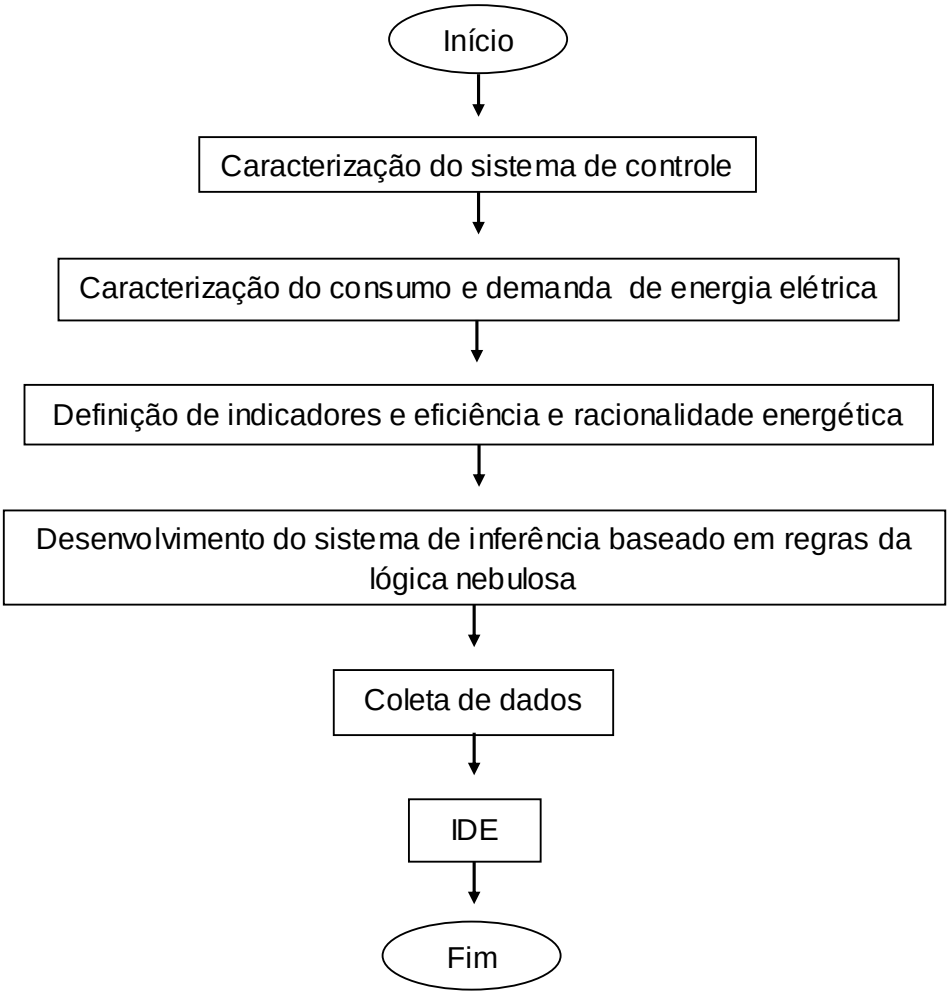
Neste trabalho de pesquisa foi utilizado o centro de área por ponderar os diversos indicadores utilizados para o cálculo do IDE.

3 MÉTODOS

3.1INTRODUÇÃO

A metodologia proposta é baseada em procedimentos quantitativos e qualitativos para estabelecer o IDE para o sistema de iluminação pública, que abrange os seguintes itens: coleta de dados, caracterização do sistema de controle da iluminação, caracterização do consumo e demanda de energia elétrica do sistema de iluminação, definição de indicadores de eficiência e racionalidade energética, desenvolvimento do sistema de inferência baseado em regras nebulosas. O fluxograma da figura 3.1 informa o planejamento de desenvolvimento da metodologia.

Figura 3.1 - Fluxograma de desenvolvimento da metodologia



Fonte: Autor

3.2 COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados por meio de medições dos parâmetros elétricos, consultas aos manuais dos fabricantes, relatórios técnicos e especificações de projeto.

Os parâmetros elétricos medidos, por meio de telemetria do controlador de alimentação da luminária são: tensão de alimentação, intensidade de corrente elétrica, potência ativa e fator de potência.

As amostras de luminárias para medições dos parâmetros foram selecionadas, aleatoriamente, em diferentes potências e circuitos de alimentação. A quantidade de amostras é em função do valor médio e desvio padrão de cada parâmetro. Durante o procedimento foram realizados os testes, de qualidade, no IEE/USP (Instituto de Eletrotécnica e Energia – atual Instituto de Energia e Ambiente), vide anexo A.

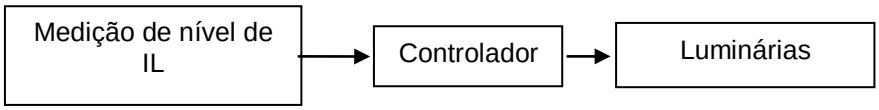
O procedimento adotado para leitura dos parâmetros elétricos foi de minuto em minuto, iniciada as 17h30 e encerrada às 19h, tendo em vista a transição entre a iluminação natural e a artificial.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO ENSAIO

O objetivo do sistema de controle é variar o fluxo luminoso da luminária, por meio de dimerização, onde a referência é a leitura do sensor IL. A área de interesse, para caracterizar o IDE por meio de dimerização da iluminação artificial, com o decaimento da IL proporcionando economia de energia, mas respeitando os limites fotométricos para vias de tráfego segundo a norma NBR 5101, as resoluções normativas da Aneel e os requisitos de projeto.

A figura 3.2 ilustra na forma de diagrama de bloco o sistema de controle do fluxo luminoso.

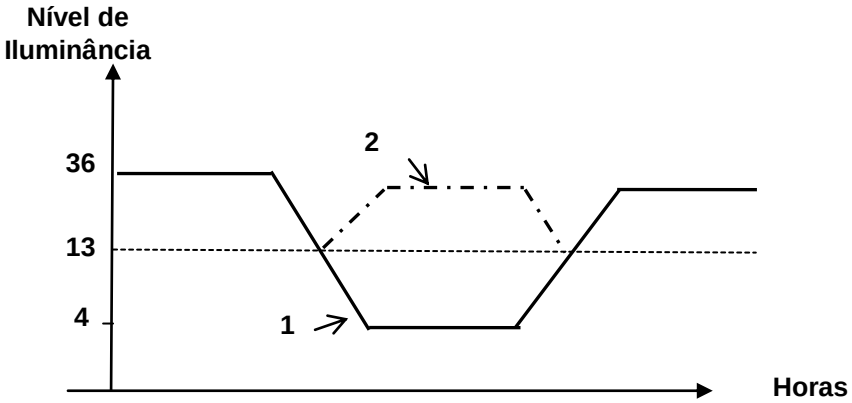
Figura 3.2 - Diagrama de blocos do sistema de controle do fluxo luminoso



Fonte: Autor

A figura 3.3 demonstra graficamente o que se deseja alcançar com a aplicação deste sistema de controle: à medida que o nível da IL estiver diminuindo, a iluminância artificial compensará esta diminuição, de modo a manter o nível de iluminação pública de acordo com as normas técnicas e as especificações de projeto. Nas especificações de projeto incluem os níveis mínimos de iluminação pública com referência a segurança.

Figura 3.3 - Objetivo do sistema de controle



1 - Gráfico representativo do nível da IL
2 - Gráfico representativo do nível de iluminância artificial

Fonte: Autor

A simples dimerização do nível de iluminância artificial em função do nível da IL proporciona a redução de consumo de energia elétrica.

Examina-se, também, a leitura do fator de potência com o objetivo de atender as normas da Aneel e a demanda máxima de energia elétrica que deve ser, no máximo, igual à demanda máxima contratada junto à concessionária de energia elétrica.

3.4 INDICADORES DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os indicadores do uso de energia elétrica podem ser classificados como indicadores globais e específicos e são essenciais para realização de diagnóstico energético.

Segundo Nogueira (2006, p.135), diagnóstico energético é um método que visa estudar as unidades consumidoras industriais e comerciais. A partir da análise dos históricos de consumo e dos indicadores do uso da energia elétrica, permite identificar os equipamentos e/ou sistemas críticos e a formular estratégia de atuação com o objetivo de usar a energia elétrica de forma eficiente e racional.

Para Raduenz (2009, p.1), o uso da energia elétrica de forma eficiente é um conceito a ser seguido por todas as unidades consumidoras. Uma maior eficiência energética de uma instalação é consequência da diminuição de perdas e desperdício de energia elétrica.

Russomano apud Neto (2004, p.14)

> “afirmou que a conservação de eletricidade é, genericamente, conseguida apenas pelo controle do seu consumo. Entretanto, como seu custo depende de outros fatores (fator de carga e fator de potência), é importante adequá-los aos parâmetros de eficiência energia e dos órgãos governamentais”.

No capitulo que abordou a metodologia foram apresentados os indicadores globais e específicos do uso de energia elétrica.

3.4.1 **Indicadores Globais do Uso de Energia Elétrica**

Para Morales (2007, p.15), os indicadores definidos como globais são genéricos a qualquer unidade consumidora, indicam a eficiência do uso da energia elétrica e indicam problemas nas instalações, do ponto de vista técnico ou comportamental.

a) *FC* - pode ser obtido por meio das faturas de energia elétrica ou medições. É definido pela razão entre a demanda média e a demanda máxima da unidade consumidora, ou pela razão entre o consumo e demanda máxima multiplicada pelo intervalo de tempo, conforme mostra a equação 3.1.

$$FC = \frac{Dmed}{Dmax} = \frac{Dmed * \Delta t}{Dmax * \Delta t} = \frac{C}{Dmax * \Delta t} \qquad \textbf{(3.1)}$$

C: consumo de energia elétrica (kWh)

D_{max}: demanda máxima de energia elétrica (kW)

Δt: intervalo de tempo(h)

Segundo Caneppele (2011, p.42), Cremasco (2008, p.10) e Hortelan (2007, p.4), o FC é um indicador adimensional e pode assumir valores entre 0 e 1, avalia como a unidade consumidora utiliza a energia elétrica.

O FC depende das características e do uso correto dos equipamentos elétricos, do regime de operação, dos desperdícios do uso de energia elétrica.

Quanto mais próximo de 1 for o resultado deste indicador, mais de forma adequada e racional, é o uso da energia elétrica.

Portanto, um aumento do FC tem como consequência o melhor aproveitamento da instalação e a diminuição do preço médio pago pela energia elétrica.

Para consumidores que, na estrutura tarifária, são classificados como convencionais, o valor de Δt é igual a 730 horas, que equivale ao número de hora em um mês genérico do ano [(365 dias/12 meses) x 24 horas], conforme mostra a equação 3.2.

$$FC = \frac{C}{Dmax * 730} \qquad \textbf{(3.2)}$$

C: consumo de energia elétrica (kWh)

D_{max}: demanda máxima de energia elétrica (kW)

Para consumidores que, na estrutura tarifaria, são classificados como horo-sazonal, o FC é calculado por período horo-sazonal (ponta e fora de ponta). O valor de Δt é igual a 65 horas para o período de ponta e o valor de Δt é igual a 665 horas para o período fora de ponta.

Equação para o cálculo do FC no período de ponta, conforme mostra a equação 3.3.

$$FCp = \frac{Cp}{Dmaxp * 65} \qquad \textbf{(3.3)}$$

FCp: fator de carga na ponta

Cp: consumo de energia elétrica no horário de ponta

D_{maxp}: demanda de energia elétrica no horário de ponta

Equação para o cálculo do FC no período fora de ponta, conforme mostra a equação 3.4.

$$FCfp = \frac{Cfp}{Dmaxp * 665} \quad \textbf{(3.4)}$$

FCfp: fator de carga fora do horário de ponta

Cfp: consumo de energia elétrica fora do horário de ponta

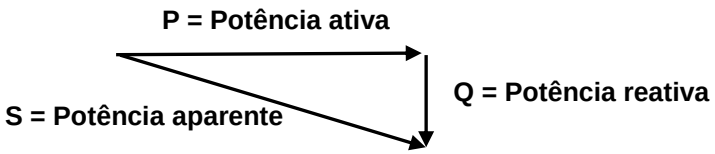
D_{maxfp}: demanda máxima de energia elétrica fora do horário de ponta

b) *FP* - é a razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas, ativa e reativa, consumidas num mesmo período. Além disso, são medidas, considerando-se as componentes de tensão e corrente apenas na frequência nominal da rede elétrica.

Segundo Caneppele (2011, p.42) e Cremasco (2008, p.10), a potência ativa é a responsável pela produção de trabalho útil. A potência reativa não produz trabalho útil, é utilizada para gerar fluxo magnético necessário ao funcionamento dos equipamentos. A potência aparente é a potência total consumida pela unidade consumidora.

O triângulo retângulo, conforme a figura 3.4, representa as relações entre potência ativa, a potência parente e a potência reativa, conforme mostra a equação 3.5.

Figura 3.4– Triângulo retângulo de potência



Fonte: Autor

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \qquad (3.5)$$

P: potência ativa (kW)

Q: potencia reativa (kVAr)

A resolução normativa da Aneel nº 414, de 9 de setembro de 2010, o FP da unidade consumidora, para fins de cobrança, deve ser verificado pela distribuidora por meio de medição permanente, de forma obrigatória para o grupo A. O valor do fator de potência de referência “fr”, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, o valor de 0,92 indutivo ou capacitivo para as unidades consumidoras dos grupos A e B conectadas em níveis de tensão inferiores a 69 kv e o valor de 0,95 indutivo para as demais unidades consumidoras.

Para Halmeman (2012, p.26), a unidade consumidora, operando com o fator de potência abaixo dos valores definidos pela norma, causa acréscimos no valor do preço médio da energia elétrica devido à cobrança de multa. Além de aumentar os desperdícios de uso da energia elétrica devido ao aquecimento dos condutores.

Ainda segundo Halmeman (2012, p.26), a unidade consumidora, operando com o FP acima dos valores definidos pela norma, utiliza a energia elétrica de maneira eficiente, ou seja, diminui o consumo da energia reativa, aumenta o rendimento do uso de energia para a produção de trabalho útil.

Então, o FP é um indicador que informa a eficiência do uso da energia elétrica.

c) *FD* - é obtido por meio de medições. É definido *pela* razão entre a demanda máxima e a soma das potências nominais dos equipamentos instalados na unidade consumidora, conforme mostra a equação 3.6.

$$FD = \frac{Dmax}{Pi} \qquad \textbf{(3.6)}$$

Dmax: demanda máxima (kW)

Pi: potência nominal dos equipamentos instalados (kW)

Segundo Caneppele (2011, p.45), o FD é um indicador adimensional que informa quantos equipamentos são usados simultaneamente, em relação ao total dos equipamentos instalados.

Este indicador é adimensional, podendo variar de 0 a 1, quanto maior for este indicador, significa que a unidade consumidora consegue utilizar simultaneamente maior percentual da potência nominal instalada, ou seja, há o bom dimensionamento dos equipamentos em relação ao trabalho executado. Portanto, a instalação opera com eficiência energética.

d) *FU* - *d*e acordo com Fadigas, em relato informal, o FU expressa à razão entre a potência consumida pelo conjunto de equipamentos de uma instalação e a soma da potência nominal de equipamentos. Conforme mostra a equação 3.7.

$$FU = \frac{Pm}{\Sigma Pni} \quad (3.7)$$

Pm: potência consumida (kW)

Pn: potência nominal (kW)

Este indicador é adimensional, podendo variar de 0 a 1, quanto maior ele for, significa que a unidade consumidora consegue utilizar maior percentual da potência nominal instalada.

A análise deste indicador nos possibilita duas conclusões: uma, o dimensionamento dos equipamentos em relação ao trabalho executado, outra, é o uso da dimerização da iluminação artificial durante a fase de transição, entre a iluminação totalmente natural e totalmente artificial.

e) IL - a partir da queda da luminosidade natural, a iluminação proporcionada pelas luminárias LED aumentará gradativamente a luminosidade artificial, compensando a queda da luminosidade ambiente medida pelo foto sensor. Até o escurecimento total do dia, a intensidade luminosa a ser fornecida pela luminária será uma função de dois fatores: a luminosidade ambiente, do horário.

Este indicador expressa o nível de luminosidade natural.

3.4.2 **Indicadores Específicos do Uso de Energia Elétrica**

Segundo Morales (2007, p.18), os indicadores específicos têm como objetivo avaliar o uso da energia elétrica, em uma determinada instalação considerando-se as informações físicas.

a) ICA - segundo Fadigas, utilizando anotação de aula, indicador de consumo de energia por área pública iluminada é definido pela razão do consumo de energia elétrica e a área pública iluminada expressa em metro quadrado, conforme mostra a equação 3.8.

$$ICA = \frac{E}{A} \qquad \textbf{(3.8)}$$

ICA: (kWh/m²)

E: energia elétrica consumida (kWh)

A: área pública iluminada (m²)

Este indicador é utilizado como unidade de referência visando à verificação da eficiência do uso da energia elétrica.

c) *IE* - *a*inda citando Fadigas, este indicador é definido pela razão entre a energia consumida e o custo do serviço prestado, conforme mostra a equação 3.9.

$$IE = \frac{E}{C} \qquad \textbf{(3.9)}$$

IE: (kWh/R$)

E: energia elétrica consumida (kWh)

C: Custo do serviço prestado (R$)

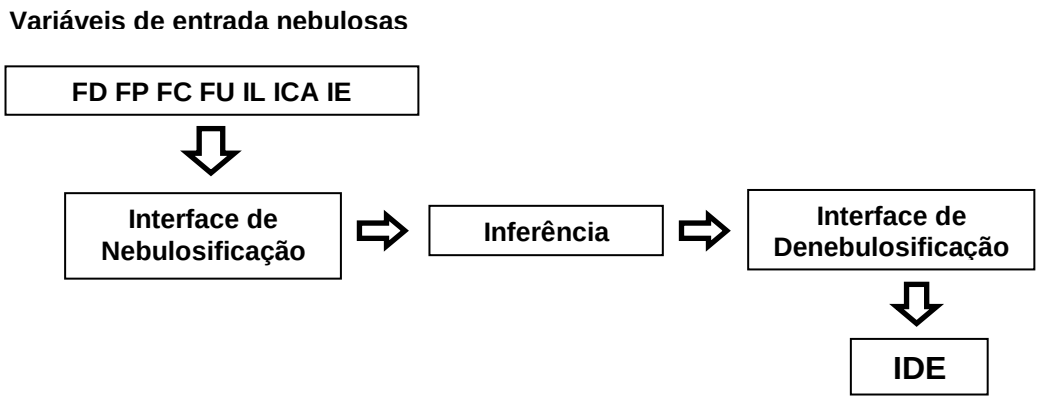
3.4.3 **Índice de Desempenho Energético**

O IDE é baseado em regras nebulosas, e definido por meio de indicadores globais e específicos de uso de energia elétrica.

O objetivo deste índice é determinar a eficiência e racionalidade do uso da energia elétrica em uma instalação, estabelecer metas para melhorar o uso da energia elétrica e possibilitar a comparação com outros consumidores.

A figura 3.5 ilustra na forma de diagrama de bloco para a definição deste índice.

Figura 3.5 - Diagrama em blocos do sistema de inferência baseado em regras nebulosas para determinação do IDE



Fonte: Autor

3.5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA NEBULOSA

O sistema de inferência nebulosa foi escolhido para indicar os níveis de eficiência energética a partir de análise de informações energéticas, porque permite usar a experiência do especialista.

Devem-se coletar e analisar os dados medidos em campo, durante o período de observação, e determinar os pontos máximos e mínimos com percentil de cada conjunto nos níveis de 25%, 50% e 75% de cada variável de entrada. Assim, definem-se os seguintes intervalos:

- e_1: valor mínimoda variável de entrada;
- e_2: 25.° percentil do conjunto de dados da variável de entrada;

- e_3: 50.° percentil do conjunto de dados da variável de entrada;
- e_4: 75.° percentil do conjunto de dados da variável de entrada;
- e_5: valor máximo da variável de entrada;

As variáveis de entradas são o FP, FC, FD, FU, IL, ICA e IE.

Para a variável de entrada FP tem-se:

a) Símbolo - FP
b) Unidade - adimensional
c) Universo de Discurso - U(FP) = [0,1]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(fp) {alto, médio, baixo}

Para a variável de entrada FC tem-se:

a) Símbolo – FC
b) Unidade – adimensional
c) Universo de discurso - U(FC) = [0,1]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(fp) {alto, médio, baixo}

Para a variável de entrada FD tem-se:

a) Símbolo - FD
b) Unidade - adimensional
c) Universo de discurso - U(FD) = [0,1]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(fd) {alto, bom, médio, baixo}

Para a variável de entrada FU tem-se:

a) Símbolo – FU
b) Unidade – adimensional
c) Universo de discurso - U(FU) = [0,1]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(fd) {alto, médio, baixo}

Para a variável de entrada ICA tem-se:

a) Símbolo – ICA

b) Unidade – kWh/m²
c) Universo de discurso - U(FD) = [o range de acordo com a planta]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(fd) {elevado, bom, médio, baixo}

Para a variável de entrada IE tem-se:

a) Símbolo - IE
b) Unidade – kWh/R$
c) Universo de discurso - U(FD) = [o range de acordo com a planta]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(fd) {ótimo, bom, médio, ruim, péssimo}

Para a variável de entrada IL tem-se:

a) Símbolo - IL
b) Unidade - lux
c) Universo de discurso - U(I) = [3; 36]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(fd) {dia, intermediário, noite}

A variável de saída é o IDE definido por um número real no intervalo [0;1] e indica o grau de eficiência e racionalidade no uso da energia elétrica na iluminação. Quanto maior for o resulta desse índice, melhor é a eficiência e a racionalidade da energia elétrica.

Para a variável de saída IDE tem-se o seguinte conjunto nebuloso:

a) Símbolo - IDE
b) Unidade - lux
c) Universo de Discurso - U(FV) = [0,1]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(fd) {muito alto, alto, médio, baixo, muito baixo}

3.6 RECURSO COMPUTACIONAL

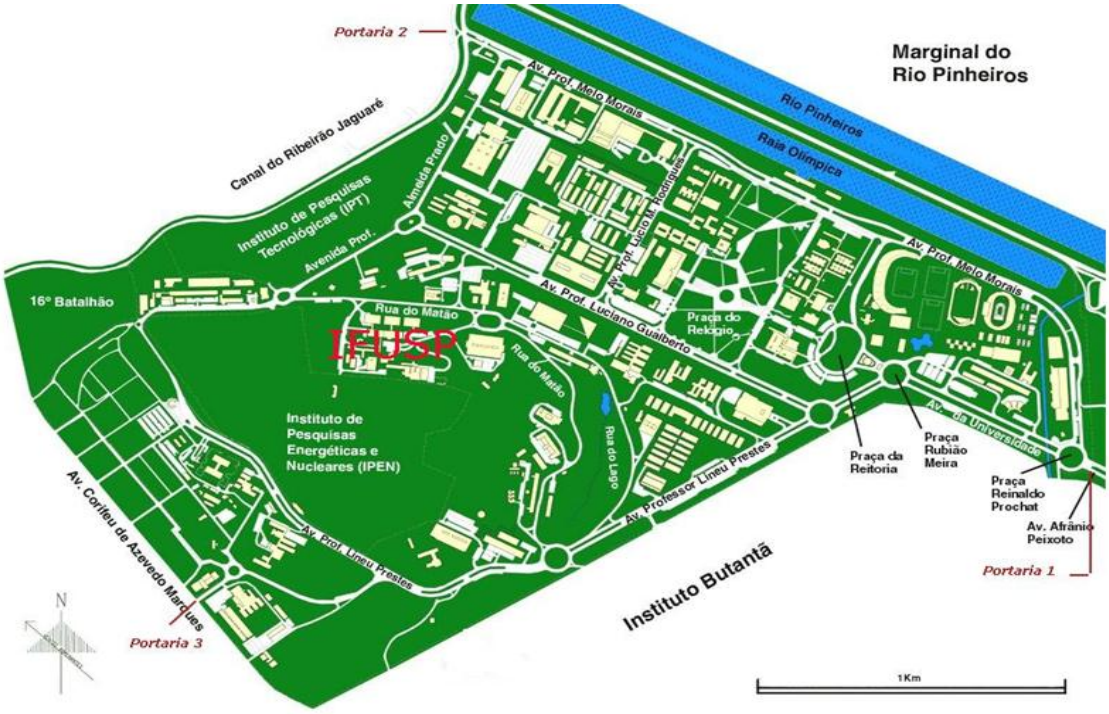
Para o cálculo do IDE foi utilizado Fuzzy Logical Toolbox do software MATLAB.

4 .ESTUDO DE CASO

4.1 LOCALIZAÇÃO

A Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira está localizada na Avenida Prof. Almeida Prado, 1280, bairro Butantã, na zona Oeste da Cidade de São Paulo, abriga praças públicas, estacionamentos e avenidas, várias unidades de ensino, museus, o Conjunto Residencial, o Centro de Práticas Esportivas e o Hospital Universitário, conforme figura 4.1.

Figura 4.1 - Cidade Universitária ”Armando de Salles Oliveira” da Universidade de São Paulo



Fonte: Prefeitura da Cidade Universitária

A grandeza da Cidade Universitária pode ser representada por meio da sua iluminação pública, constituída por 6804 luminárias utilizando a tecnologia LED.

4.2 JUSTIFICATIVA

A escolha do sistema de iluminação pública instalado na Cidade Universitária justifica-se pela quantidade de luminárias instaladas equivale, a iluminação pública, de aproximadamente 84% dos municípios, do Estado de São Paulo, em 2015, segundo a tabela de municípios do Estado de São Paulo, disponibilizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2015.

4.3 DELIMITAÇÃO

O Estudo de Caso está delimitado as zonas públicas da Cidade Universitária, tais como: estacionamentos de automóveis, vias de veículos e pedestres, praças e monumentos.

4.4 CARGA INSTALADA

Os produtos de iluminação pública instalados na Cidade Universitária são luminárias a LED, cuja a especificação está no Relatório de Ensaio realizado pelo Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, no anexo A.

De acordo com as especificações de projeto de modernização da iluminação da Cidade Universitária, a quantidade de luminárias instaladas foi conforme a tabela 4.1.

Tabela 4.1- Quantificação de luminárias instaladas do tipo LED

Potência (W)	Quantidades	Potência (kW) Total do tipo de luminárias
200	1.112	222,400
100	3.917	391,700
53	1.084	57,452
Total	6.113	671,552

Fonte: Prefeitura da Cidade Universitária

4.5 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS E FOTOMÉTRICAS DAS LUMINÁRIAS

As luminárias para iluminação pública a LED são compostas por LED de potência brancos e apresentam as seguintes características: temperatura de cor de 4000K ± 300K, índice de reprodução de cor maior ou igual a 70 e controlador eletrônico.

De acordo com o IEE/USP, seção técnica de fotometria, apresenta a tabela com as características elétricas e fotométricas das luminárias por potência elétrica, conforme a tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Características elétricas e fotométricas das luminárias

	Potência elétrica (W)		
	200	**100**	**54**
FP	0,967	0,978	0,972
Eficiência luminosa (lm/W)	98	97	92

Fonte: Instituto de Eletrotécnica e Energia, seção técnica de fotometria

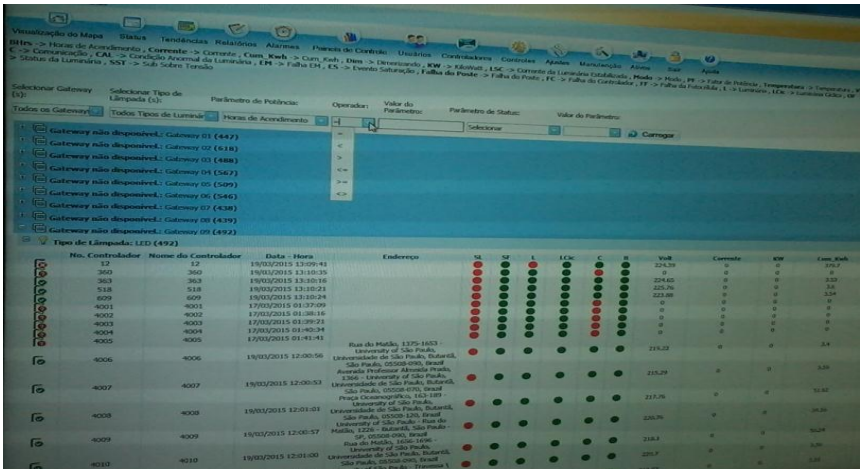
4.6 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi executada por meio de medições elétricas, consultas aos manuais dos fabricantes, relatórios técnicos elaborados pelo IEE/USP, seção técnica de fotometria e planilha de especificação de projeto, com a finalidade de determinação dos indicadores de eficiência energética.

As medições dos parâmetros elétricos e fotométricos em laboratório, tais como, eficiência luminosa, fator de potência e potência elétrica, foram realizadas pelo IEE/USP, conforme anexo A.

As medições dos parâmetros elétricos em campo, tais como, tensão de alimentação, intensidade de corrente elétrica e fator de potência, por luminária, foram realizadas por meio da telemetria do sistema de controle da iluminação.

Figura 4.2 – Tela do software de controle de luminárias



Fonte: Prefeitura da Cidade Universitária

As leituras da telemetria foram realizadas, de minuto em minuto, em intervalos de 15 minutos, nos períodos de ponta e fora de ponta, para estar em conformidade à portaria de tarifação da Aneel.

Os parâmetros elétricos medidos, de forma individualizada são tensão de alimentação, intensidade de corrente elétrica e fator de potência da luminária, por meio de telemetria do controlador de alimentação da luminária e configurado para realizar leituras de dados por minuto em intervalos de 15 minutos, nos períodos de ponta e fora de ponta, esta configuração coincide com a portaria da Aneel para fim de tarifação.

4.7 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO

De acordo com a Prefeitura da Cidade Universitária, o sistema de iluminação tem como objetivo proporcionar aos alunos, professores, funcionários e frequentadores do Campus, maior conforto visual, aumento significativo da sensação de segurança, níveis de iluminação compatíveis com normas técnicas nacionais e

internacionais, principalmente em locais de trânsito de pedestres, estacionamentos e praças.

Em função dos requisitos técnicos, tais como, iluminância uniforme, eficiência energética e de minimização dos custos operacionais, foi utilizado luminárias LED.

Esta instalação dispõe de um sistema de gerenciamento remoto das novas luminárias LED, constituído por uma infraestrutura de coleta e transmissão de dados que permite o monitoramento em tempo real de todo o parque instalado, atuando pontualmente no controle de operação, programação dos acionamentos e níveis de iluminação por local ou horário.

A integração deste sistema de gerenciamento com as luminárias LED permite o controle do fluxo luminoso por dimerização, podendo-se adequar, pontualmente, a quantidade de luz entregue em função de horários, fluxo de veículos e pessoas nas diversas áreas do Campus.

Através do engenheiro Enea Neri, responsável pela manutenção elétrica, da Prefeitura da Cidade Universitária, os acionamentos das luminárias eram de forma individual por relé fotoelétrico intercambiável, sem dimerização, sem configuração por horários de funcionamento, dias da semana e demanda máxima.

O relé fotoelétrico deve desligar a luminária entre os níveis de iluminamento de (15 lux ± 25%) na superfície da tampa do relé e ligar entre os níveis (10 lux ± 25%), quando energizado com 220V, de acordo com a especificação prevista na NBR 5123:1998.

4.8 CARACTERIZAÇÃO FOTOMÉTRICA E ENERGIA ELÉTRICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A caracterização do consumo e demanda de energia elétrica do sistema de iluminação estão relacionados ao enquadramento tarifário, fator de potência, especificações das zonas de iluminação.

De acordo com PURE/USP, o enquadramento tarifário é horo-sazonal trifásico verde, modalidade A4. Para a tarifação de consumo, nos dias úteis, há dois períodos: o período de ponta, com duração de 3 horas, iniciando as 17h30 e encerrando as 20h30, e o período fora de ponta constituído das 21 horas restantes. Para os finais de semana, às 24 horas do dia, são consideradas como fora de ponta. A demanda de energia elétrica é única durante todo o período de medição.

Segundo a Prefeitura da Cidade Universitária, o sistema de iluminação pública cobre a área pública formada por 350.000 m² de vias e 230.000 m² de calçadas e estacionamentos, totalizando uma área de 580.000 m².

O FP de acordo com as resoluções normativas da Aneel, Resolução Normativa 414/2010, deve ser igual ou superior a 0,92.

Os níveis de iluminância de vias de veículos e pedestres estão especificados no capítulo 2, item 2.1.1, quadro 2.1.

4.9 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE INFERÊNCIA NEBULOSA

As variáveis de entradas são: FP, FC, FD, FU, IL, ICA e IE.

Os valores de FP foram obtidos durante o mês de setembro/2014, pela telemetria do sistema de iluminação foram 0,98; 0,99 e 1,00, em termos percentuais correspondem a 7,2%, 25,6% e 67,1% respectivamente. Foram realizadas 65.500 leituras em 537 luminárias.

Os valores do domínio da variável de entrada FP estão apresentados no quadro 4.1.

a) Símbolo - FP
b) Unidade - adimensional
c) Universo de Discurso - U(FP) = [0,92; 1]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(FP) {alto}

Quadro 4.1 - Valores do domínio da variável de entrada FP

Nome do Conjunto	Forma da Função	Domínio
Alto	Linear Crescente	[0,92 – 1]

Fonte: Autor

Os valores de FC para 537 luminárias foram iguais a 1.

Os valores do domínio da variável de entrada FC estão apresentados no quadro 4.2.

a) Símbolo - FC
b) Unidade - adimensional
c) Universo de discurso - U(FC) = [0,90; 1]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(FC) {alto}

Quadro 4.2 - Valores do domínio da variável de entrada FC

Nome do Conjunto	Forma da Função	Domínio
Alto	Linear Crescente	[0,90–1]

Fonte: Autor

Os valores dos fatores de demandas foram calculados para o sistema de iluminação para as 537 luminárias e foram iguais a 1.

Os valores dos domínios para a variável de entrada FD estão apresentados no quadro 4.3:

a) Símbolo - FD
b) Unidade - adimensional
c) Universo de discurso - U(FD) = [0,90; 1]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(FD) {alto}

Quadro 4.3 - Valores do domínio da variável de entrada FD

Nome do Conjunto	Forma da Função	Domínio
Alto	Linear Crescente	[0,90–1]

Fonte: Autor

Os valores dos fatores de utilizações das luminárias foram calculados para o sistema de iluminação para as 537 luminárias e foram iguais a 1.

Os valores dos domínios para a variável de entrada FU estão apresentados no quadro 4.4:

a) Símbolo - FU
b) Unidade - adimensional
c) Universo de discurso - U(FU) = [0,60; 1]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(FU) {baixo, médio, alto}

Quadro 4.4 - Valores dos domínios da variável de entrada FU

Nome do Conjunto	Forma da Função	Domínio
Baixo	Linear Decrescente	[0,60 - 0,80]
Médio	Triangular	[0,75 - 0,80 - 0,85]
Alto	Linear Crescente	[0,80 - 1]

Fonte: Autor

Os valores dos domínios para a variável de entrada de consumo de energia por área pública iluminada foram obtidos por meio de informações fornecidas pelo PURE/USP (Programa permanente para o uso eficiente de energia na USP), estão expostos no quadro 4.5.

a) Símbolo – ICA
b) Unidade – kWh/m²
c) Universo de discurso - U(ICA) = [0,00069 ;0,0015]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(ICA) {alto, médio, baixo}

Quadro 4.5 - Valores dos domínios da variável de entrada ICA

Nome do Conjunto	Forma da Função	Domínio
Baixo	Linear Decrescente	[0, 00069 – 0,00092]
Médio	Triangular	[0, 00069 – 0,00092 - 0,00115]
Alto	Linear Crescente	[0, 00092–0,00115]

Fonte: Autor

Os valores dos domínios para a variável de entrada IE foram obtidos junto a AES Eletropaulo e o PURE/USP, estão apresentados no quadro 4.6:

a) Símbolo – IE
b) Unidade – kWh/R$
c) Universo de discurso - U(IE) = [0,0033; 0,0043]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(IE) {alto}

Quadro 4.6 - Valores do domínio da variável de entrada IE

Nome do Conjunto	Forma da Função	Domínio
Alto	Linear Crescente	[0,0033–0,0043]

Fonte: Autor

Os valores do domínio para a variável de entrada IL foram obtidos através das especificações da Copel e Feitosa (2012, p. 30), e estão apresentados no quadro 4.7.

a) Símbolo – IL
b) Unidade – lux
c) Universo de discurso - U(IL) = [3;36]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(IL) {noite, intermediário, dia}

Quadro 4.7- Valores dos domínios da variável de entrada IL

Nome do Conjunto	Forma da Função	Domínio
Noite	Linear Decrescente	[3 –15]
Intermediário	Triangular	[5 – 15–32]
Dia	Linear Crescente	[15–36]

Fonte: Autor

A variável de saída é o IDE definido por um número real no intervalo [0;1] e indica o grau de eficiência e racionalidade no uso da energia elétrica na iluminação. Quanto maior for o resultado deste índice, melhor é a eficiência e a racionalidade da energia elétrica, conforme quadro 4.8.

Para a variável de saída IDE tem-se:

a) Símbolo - IDE
b) Unidade - adimensional
c) Universo de Discurso - U(FV) = [0,79; 1]
d) Conjunto dos termos linguísticos - T(IDE) {baixíssimo, baixo, médio, alto, altíssimo}

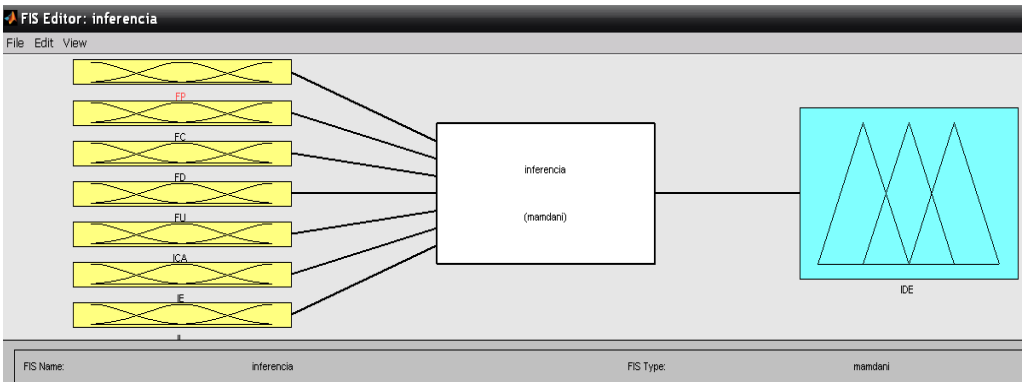
Quadro 4.8 - Valores dos domínios da variável de saída IDE

Nome do Conjunto	Forma da Função	Domínio
Baixíssimo	Linear Decrescente	[0,79 - 0,84]
Baixo	Triangular	[0,79 - 0,84 - 0,88]
Médio	Triangular	[0,84 - 0,88 - 0,94]
Alto	Triangular	[0,88 - 0,95 -1,00]
Altíssimo	Linear Crescente	[0,95 -1]

Fonte: Autor

A figura 4.3 mostra a tela do recurso computacional para a tela de introdução, configuração de dados do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB® do sistema de inferência.

Figura 4.3 – Configuração dos dados Fuzzy Logical



Fonte: Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB® (2010)

Após a apresentação das variáveis nebulosas, foram adotadas as seguintes regras de inferência:

1. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is baixo) and (ICA is baixo) and (IL is noite) then (IDE is baixo) (1)

2. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is baixo) and (ICA is baixo) and (IE is alto) and (IL is noite) then (IDE is médio) (1)

3. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is médio) and (ICA is médio) and (IL is noite) then (IDE is alto) (1)

4. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is medio) and (ICA is médio) and (IE is alto) and (IL is noite) then (IDE is medio) (1)

5. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is alto) and (ICA is alto) and (IL is noite) then (IDE is altissimo) (1)

6. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is alto) and (ICA is alto) and (IE is alto) and (IL is noite) then (IDE is altissimo) (1)

7. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is baixo) and (ICA is baixo) and (IL is intermediario) then (IDE is medio) (1)

8. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is baixo) and (ICA is baixo) and (IE is alto) and (IL is intermediário) then (IDE is baixo) (1)

9. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is médio) and (ICA is médio) and (IL is intermediário) then (IDE is altissimo) (1)

10. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is medio) and (ICA is medio) and (IE is alto) and (IL is intermediario) then (IDE is medio) (1)

11. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is alto) and (ICA is alto) and (IL is intermediario) then (IDE is médio) (1)

12. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is alto) and (ICA is alto) and (IE is alto) and (IL is intermediario) then (IDE is baixo) (1)

13. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is baixo) and (ICA is baixo) and (IL is dia) then (IDE is baixissimo) (1)

14. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is baixo) and (ICA is baixo) and (IE is alto) and (IL is dia) then (IDE is baixo) (1)

15. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is medio) and (ICA is medio) and (IL is dia) then (IDE is baixissimo) (1)

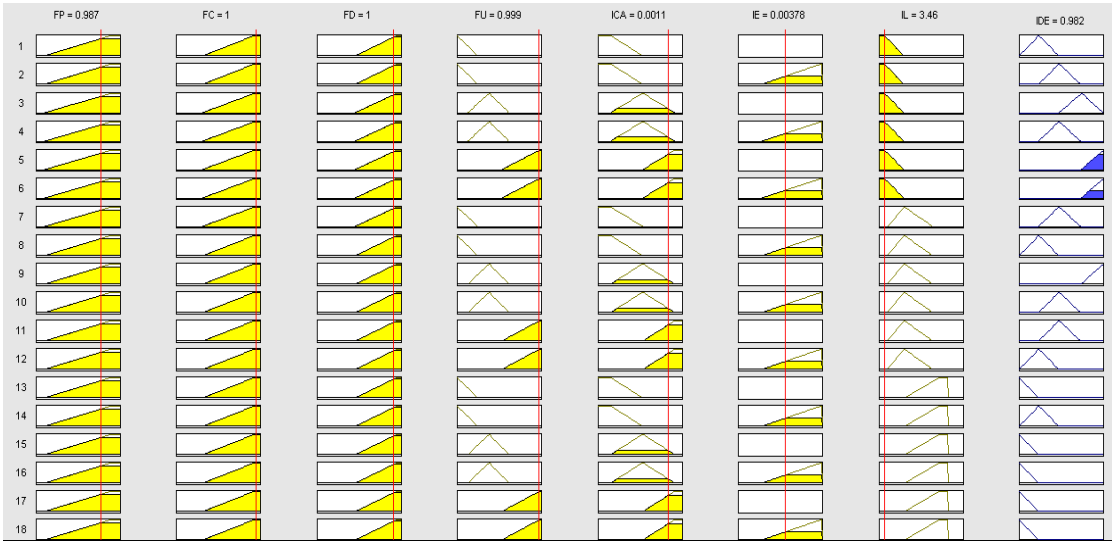
16. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is medio) and (ICA is medio) and (IE is alto) and (IL is dia) then (IDE is baixissimo) (1)

17. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is alto) and (ICA is alto) and (IL is dia) then (IDE is baixissimo) (1)

18. If (FP is alto) and (FC is alto) and (FD is alto) and (FU is alto) and (ICA is alto) and (IE is alto) and (IL is dia) then (IDE is baixissimo) (1)

A figura 4.8 mostra o IDE igual a 0,98 é resultante do cenário de simulação em que as variáveis de entrada têm os seguintes valores: FP igual a 0,99; FC igual a 1,00; FD igual a 1,00; FU igual a 0,99; ICA igual a 0,0011; IE igual a 0,0037; IL igual a 3,5.

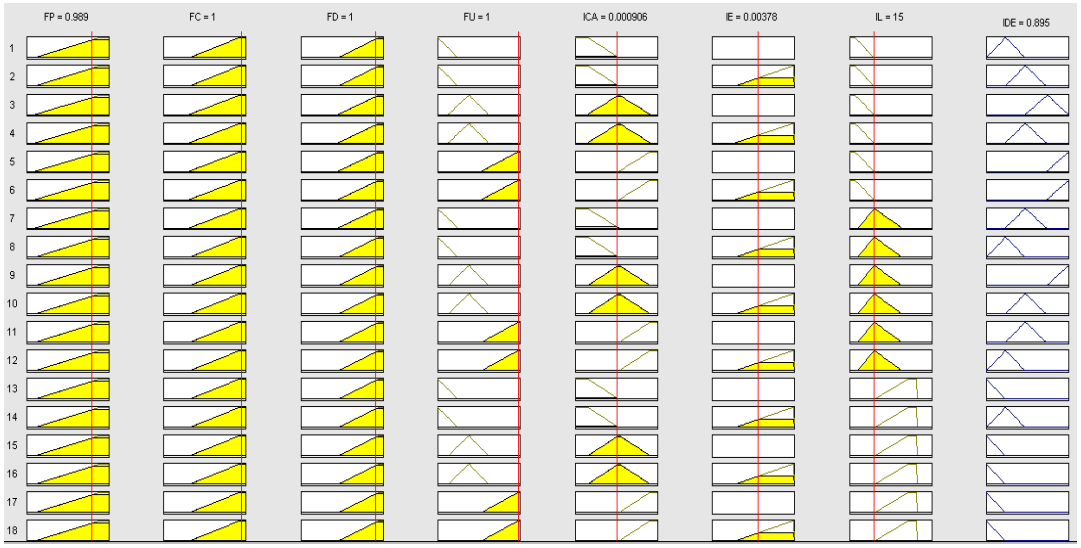
Figura 4.4 - Cenário de simulação do cálculo do IDE



Fonte: Tela do recurso computacional Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB®

A figura 4.5 mostra o IDE igual a 0,89 é resultante do cenário de operação do sistema de iluminação em que as variáveis de entrada têm os seguintes valores: FP igual a 0,99; FC igual a 1,00; FD igual a 1,00; FU igual a 1,00; ICA igual a 0,0009; IE igual a 0,0037; IL igual a 15.

Figura 4.5 – Cenário de operação do sistema de iluminação para o calculo do IDE



Fonte: Tela do recurso computacional Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB®

4.10 RESULTADOS E ANÁLISE

Na aplicação do IDE, foram observadas peculiaridades na iluminação pública, no que se refere aos procedimentos operacionais. O seu emprego propicia o uso eficiente e racional do uso de energia elétrica. A utilização da inferência nebulosa permitiu identificar problemas e executar as ações de controle baseando-se na experiência e perspicácia do gestor do sistema de gerenciamento, sem que seja necessário conhecer os valores numéricos das variáveis envolvidas.

Vale ressaltar, que o sistema de referência nebuloso, foi definido com dados coletados diariamente, durante a fase de implantação. É possível aperfeiçoar o seu desempenho, inserindo a cada semana, novos dados referentes aos indicadores possibilitando modificações nas funções de pertinência, e assim mantém o sistema atualizado.

Aplicando-se o método de denebulosificação média dos máximos (M-o-M) obtém-se um valor numérico real discreto, que representa a variável de saída, denominado IDE.

A tabela 4.3 mostra dois diferentes cenários: 1 de operação na fase de implantação e 2 de simulação.

Tabela 4.3 – Cenários de operação do sistema de iluminação

	Cenários	
	1	**2**
Fator de Potência (FP)	0,99	0,99
Fator de Carga (FC)	1,00	1,00
Fator de Demanda (FD)	1,00	1,00
Fator de Utilidade (FU)	1,00	0,99
Consumo por Área (ICA)	0,0009	0,0011
Intensidade Energética (IE)	0,0037	0,0037
Luz Natural (IL)	15	3,5
Índice de Desempenho Energético (IDE)	**0,89**	**0,97**

Fonte: Autor

Analisando os resultados da tabela 4.3, há possibilidade de aumento do desempenho energético da operação das luminárias na fase de implantação em relação à simulação. Esse ganho de desempenho pode ser alcançado por meio da dimerização das luminárias em função da luz natural. Essa condição de operação, por dimerização, é observada pelo fator de utilidade e consumo por área que são diferentes nos dois cenários.

Os fatores de potências, nos dois cenários, próximos a unidade, são frutos da eficiência energética, e esses são resultados da utilização da tecnologia LED, baixas perdas e pouca influência de energia reativa.

Os fatores de cargas elevados, nos dois cenários, são consequências da alta racionalidade do uso de energia elétrica, isto é decorrência da excelente distribuição do uso da energia elétrica em relação a demanda.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

As medições dos parâmetros elétricos, realizadas pelo sistema de iluminação pública, contribuíram para a obtenção dos indicadores do uso da energia elétrica, apresentados neste trabalho.

O conceito é obter uma modelagem simplificada, baseado em lógica nebulosa, caracterizar o sistema de iluminação, sob o ponto de vista de eficiência e racionalidade energética. Sendo assim, foi desenvolvido um método computacional capaz de inter-relacionar e interpretar diversos indicadores conjuntamente, com a finalidade de gerar um IDE.

A interpretação deste índice, definido como IDE, apresenta como resultado uma informação qualitativa, que avalia a conservação de energia.

Mais ainda, possibilita ao gestor da iluminação pública, usá-lo como instrumento de tomada de decisão para estabelecer metas de melhoramento, permitir comparações com outras instalações e, sempre que possível, buscar analogias, com as que apresentarem melhor desempenho.

Conclui-se que o sistema de inferência nebulosa, é de fácil uso e que poderá colaborar com os gestores de qualquer cidade do país, na melhor utilização da energia elétrica para a iluminação pública e na economia de recursos financeiros.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como proposta para pesquisas futuras sugere-se o desenvolvimento e a aplicação do IDE para iluminação artificial de edifícios, túneis e áreas públicas que empregam lâmpadas com a tecnologia de vapor metálico.

REFERÊNCIAS

AES Eletropaulo. **Tarifas de energia elétrica**. Disponível em: https://www.aeseletropaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/conteudo/tarifa-de-energia-eletrica. Acessado em: 24/03/2015.

AGUIAR,W. M.**O uso de fonte alternativas de energia como fator de desenvolvimento social para segmentos marginalizados da sociedade**. 2004. 91p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/ppe/_production/tesis/wmaguiar.pdf.Acessado em:14/02/2014.

ABESCO - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. **O que é eficiência energética?**Disponível em: http://www.abesco.com.br/abesc.asp?area=14Acessado em: 20/10/2013.

ABESCO - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia.**Como otimizar e quais o seu benefícios?**Disponível em: http://www.abesco.com.br/abesc.asp?area=16.Acessado em: 20/10/2013.

BATISTA, O. E. **Medidas de Gestão Energética de baixo custo como estratégia para redução de custos com energia elétrica**. 2012, GEPROS periódico acadêmico de Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Disponível; http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/viewFile/921/467 .Acessado em: 20/08/2013

CANEPPELE, F. L. **Sistema Fuzzy de suporte a decisão para aplicação de programa de eficiência energética em serrarias.** 2011. 159p.Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu Universidade do estado de São Paulo.

CALLADO, A. A.C.; CALLADO, A. L. C.; MACHADO, M. A. V**.**Indicadores de desempenho operacional e econômico: um estudo Exploratório no contexto do agronegócio.**Revista de Negócios**, Blumenau, v. 12, n. 1, p. 3 - 15, janeiro/março 2007. Disponível em: http://proxy.furb.br/ojs/index.php/rn/article/viewFile/307/294 Acessado em: 14/01/2014.

CARREGARO, J. C. **Proposta de Indicadores de Desempenho às Distribuidoras de Energia Federalizadas do Setor Elétrico Brasileiro.** 2003. 57 p. Dissertação (Mestrado). Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86054/195772.pdf?sequence=1. Acessado em: 12/05/2014.

CARVALHO,P.G.M.;BARCELLOS,F.C.**Políticas públicas e sustentabilidade ambiental.**Revistas Eletrônicas FEE, Porto Alegre-RS,v.37,n.1,2009. Disponível em:http://revistas.fee.tche.br/index.php/ indicadores /article/viewFile /2280/2656Acessado em: 10/07/2014.

CAVALCANTI, J. H. F.; MELO,H.; SOUTO, C. R.; CAVALCNTI, M. T. **Lógica Nebulosa Aplicada às Engenharias**.Disponível em: **Erro! A referência de hiperlink não é válida.**. Acessado em: 16/01/2014

CENTRO DE TECNOLOGIA- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Eficiência energética aplicada aos processos produtivos. Curso de Pós-Graduação – Especialização a Distância**Disponível em <http://www.ufsm.br/desp/cedeap/justificativa.html> Acessado em: 14/02/2015.

CIMA,F. M. **Utilização de indicadores energéticos no planejamento energético 9integrado**. 2006. 195 p.Dissertação (Mestrado)- Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE,2006. Disponível em: http://ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/fmcima.pdfAcessado em: 25/10/2013.

COSTA, G. J.C. **Iluminação econômica:** cálculo e avaliação. 4ª ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

CREMASCO,C. P; FILHO, L. R. A. G.; CATANEO.**Ametodologia de determinação de funções de pertinência de controladoresNebulosapara a avaliação energética de empresas de avicultura de postura.** Revista Energia na Agricultura. Botucatu, vol. 25, n.1, 2010, p.21-39. Disponível em: https://www.google.com.br/#q=Botucatu%2C+vol.+25%2C+n.1%2C+2010%2C+p.21-39 . Acessado em: 27/01/2014.

COPEL. **Especificação relé fotoelétrico intercambiável tipo rf-10**. Norma Técnica. 2010 p. 21. Disponível em:http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/5C0063B606D004A903257481005F0EBD/$FILE/ntc810035.pdf Acessado em: 03/02/2015.

Dantas G, Castro N. J, Martelo E, Mazzone A. **Eficiência Energética na Iluminação Pública e o Plano Nacional de Eficiência Energética.** Texto de Discussão do Setor Elétrico nº. 42. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/48_TDSE42.pdf . Acessado em 03/02/2015.

De Rolt, M. I.P. **Uso de indicadores para a melhoria da qualidade em pequenas empresas.** 1998Dissertação (Mestrado) – Federal de Santa Catarina, 1998. Disponível em: http://www.eps.ufsc.br/disserta98/rolt/cap2.htmlAcessado em: 13/01/2013.

Eletrobrás.Procel - Iluminação pública. Disponível: **Erro! A referência de hiperlink não é válida.**Acessado em: 02/10/2013.

EPE - **Avaliação da eficiência energética para os próximos 10 anos (2012-2021)**.(Série: Estudos de demanda, NOTA TÉCNICA DEA 16/12/2012.Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/_Documents/S%C3%_A9rie%20Estudos_%20de%20Energia/20121221_1.pdf. Acessado em: 20/10/2013.

FADIGAS, E. A.. Anotações de discussões (indicadores de uso de energia elétrica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; ano 2015.

FEITOSA, M.; TORRES,A.JR. **Redução do Consumo de Energia na Iluminação Pública com Lâmpadas a Vapor de Sódio**. Revista O Setor Elétrico. Edição 83. 2012 p. 30. Disponível: http://www.osetoreletrico.com.br/web__/documentos/fasciculos/Ed83_fasc_iluminacao_cap12.pdf>. Acessado em: 15/03/2015.

FERREIRA,J. **Economia e gestão da energia Lisboa**.Disponívelhttp://www.jesusferreira-pt.giganet1.yespt.com/ficheiros_artigos/economiae gest%C3%A3od aenergia.pdf 1994.p. 163. Acessado em:20/01/2014

GABRIEL,C. P. C. **Aplicação da Lógica Nebulosa para Avaliação do Faturamento do Consumo de Energia Elétrica e Demanda de uma Empresa de Avicultura de Postura.** 2008. 98 p**.** Dissertação (Doutorado). Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP. Disponível em:www.acervodigital.unesp.br/handle/123456789/55076. Acessado em: 05/03/2014

HALMEMAN, M. C. R. **Determinação de Indicadores de Eficiência e Racionalidade Energética na Produção de Etanol com a Aplicação da Lógica Fuzzy**. 2012. 83. p. Dissertação (Doutorado). Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP. Disponível em:**Erro! A referência de hiperlink não é válida.**. Acessado em: 08/03/2014

HAMMOND, A.;ADRRIAANSE, A.;RODENBURG, E. Environmental Indicators: a Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development. Washington WRI,1995.

HORTELAN, A. J. Controle e Otimização De Fator De Carga, 2007. Dissertação Graduação),Curso de Engenharia de Controle e Automação. Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: http://www.em.ufop.br/cecau/monografias/2007/JAIR%20HORTELAN.pdf.Acessado em: 10/07/2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Relação de Municípios do Estado de São Paulo de São Paulo. Disponível em: http://cidades.ibge.gov.br/download/mapa_e_municipios.php?lang=&uf=sp Acessado em 10/11/2015.

ISHIKAWA,K;**O significado dos indicadores.** Disponível em: http://www.administradores.com.br/artigos/negocios/o-significado-dos-indicadores/34566/. Acessado em: 10/07/2014.

LOUÇANO, N. R. **Eficiência energética em edifícios**: gestão do sistema iluminação2009, 101p.Dissertação (Mestrado) – Instituto Politécnico de Bragança, 2009.Disponível em: https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream /10198/2017/1/Relatorio_Nelson_Loucano.pdf.Acessado em: 28/11/2012.

MAFRA, A. T. **Proposta de indicadores de desempenho para a indústria de cerâmica vermelha,**cap. 3 Dissertação(Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. Disponível em:http://www.eps.ufsc.br/disserta99/antero/cap3.html Acessado em: 18/01/2014.

MARQUES, M. C. S.; HADDAD,J.;MARTINS, A. R. S. **Conservação de energia:** eficiência de equipamentos e instalações. Itajubá: FUPAI, 2006.

MARTINS, P. G.;LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2ª ed. rev.São Paulo: Saraiva, 2006, Cap. 1 9-16,2006.

MIRANDA,P.;VILELA, M. B. Jr. **Sistema de Controle difuso de Mamdani – Aplicações: Pêndulo Invertido.** 2003 p. 53**.**Dissertação (graduação) Departamento de Computação e Estatística. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

MORALES,C. **Indicadores de Consumo de Energia Elétrica como Ferramenta de apoio à Gestão: Classificação por Prioridades de Atuação na Universidade de São**. 2007. 114 p**.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da USP.

MUNASINGHE, M.; SCHRAMM, F. Tilulo In:. **Energy economics, demand management and conservation policy**. New NISKIER, J.;MACINTYRE, A. J. **Instalações elétricas.** Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan, 1985.

NETO, F.A. **Diagnóstico Informatizado de Eficiência Energética: uma proposta às agroindústrias**.2004.162.p. Dissertação (Mestrado)- CiênciasAgronômicas da Universidade do Estado de São Paulo. Botucatu – SP Disponível em: http://www.acervodigital.unesp.br/handle/123456789/50525?locale=pt_BR Acessado em: 14/07/2014.

NOGUEIRA,L.A.H.**Auditoria Energética.** 2006. Capitulo IV. Livro Conservação de Energia – Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações. Universidade Federal de Itajubá. Disponível em: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/_app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Livro_Conservacao_de_Energiaed3.pdf.Acessado: em: 20/01/2014.

NOGUEIRA, L.A. H.**Uso racional: a fonte energética oculta**. Estudos. Avançados versão on line. vol.21 nº.59 . Jan./Apr. 2007. São Paulo. Disponível: **Erro! A referência de hiperlink não é válida.**. Acessado em: 24/01/2014.

PARENTE, A. **Indicador de Sustentabilidade Ambiental**: um Estudo do Ecological Footprint Method do Município de Joinville-SC, 2007. 197f (Dissertação de mestrado) Departamento de Administração. Universidade do Vale do Itajaí. Biguaçu - SC Disponível em: http://www6.univali.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=335 Acessado em: 12/07/2014.

Prefeitura da Cidade Universitária. NERI, E. **Reunião técnica (controle do sistema de iluminação publica da Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" da Universidade de São Paulo)**. São Paulo, ano 2014 e 2015.

Prefeitura da Cidade Universitária. COSTA, D.**Conversa técnica (área da iluminação pública) por meio de e–mail**:douglascosta@usp.brAcessado em 27/03/2015.

PROCEL (ELETROBRÁS). **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações.** Universidade de Itajubá (FUPAI), Itajubá-MG, 3 ed. 2006, p.597.

PURE/USP. SILVA,R. S.. SEF - Superintendência do Espaço Físico da USP). Conversa informal por meio de e-mail. rogerio.silva@pea.usp.br. São Paulo: 23/03/2015.

RADUENZ, S., L.;PÉRES, A.;Deschamps, E. **Análise De Conservação De Energia Elétrica Nas Indústrias Do Setor Metal-Mecânico Do Alto Vale Do Itajaí -** E-Tech**:** Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 1-15, 1º. Sem., 2009. Disponível em: http://revista.ctai.senai.br/index. php/edicao01/article/viewFile/61/38. Acessado em: 12/07/2014.

SAAB, W. G. L. **Os indicadores de desempenho do comercio varejista brasileiro - uma avaliação de 1999 e as perspectivas para 2000.** Gerência Setorial de Comércio e ServiçosNº 13. 2000. Disponível em; http://www.bndes.gov.br/

SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento /setorial /get4is13.pdfAcessado em: 10/01/2014.

SAIDEL, M. A.; JUNIOR, S. A.; FAVATO, L. B.; RAMOS, M. C. E. S.; IWASHITA, J.**Leds em iluminação pública: tecnologia, desempenho e implantação.** Ed. 77,Cap. 6,p. 40-45, 2012. Disponívelem:**Erro! A referência de hiperlink não é válida.**Acessado em: 17/12/2013.

SAIDEL, M. A.; FAVATO, L. B.; MORALES, C. **Indicadores energéticos e ambientais: ferramenta importante na gestão da energia elétrica.** São Paulo. Universidade de São Paulo. Programa Permanente para o Uso Eficiente de Energia na USP. 2005.

SAIDEL,M. A.; KANAYAMA,P. H.;CARVALHO, C.E.; LAVAREZ, A. L.M.;UDAETA,M.E.M.Cap.5. **A conservação de energia**. In: Lineu Belico dos Reis (coord.). Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000, p. 283.

SHAW,I. S.;SIMÕE,M. G. **Controle e ModelagemNebulosa**. São Paulo.Editora Edgard Blucher. São Paulo.1999.p. 165.

TANSCHEIT, R. **Fundamentos de Lógica Nebulosa e Controle Nebulosa**. Pontificie da Universidade Católica. Rio de Janeiro. 2004.p.22 Disponível: http://tcs.eng.br/PUC/Nebulosa/SI-Logica_Controle_Nebulosa.pdf Acessado em 14/01/2014.

ZADEH,L. A. **Fuzzy Sets**. Institute of Electrical and Electronics Engineers.1965.p. 338-353.

ANEXO A

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE FOTOMETRIA

Av. Luciano Gualberto, 1289 • Cidade Universitária • Butantã
CEP 05508-010 • São Paulo • SP • BRASIL • www.iee.usp.br
Telefones: 11 3091-2501 • Fax 11 3032-7750 / 3812-3352
CNPJ: 63.025.530/0042-82 • Inscrição Estadual: isento

Relatório de Ensaio Nº xx.xxx	Folha
	1 de 4

1. **Laboratório Responsável:** SICADEE-04 - SERVIÇO TÉCNICO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO, CONDIC. AMBIENTAL E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES
2. **Ordem de Serviço** **nº 2014xxxxx-x**
3. **Descrição do corpo de prova:**
   Uma luminária fechada para iluminação pública, ID: 1223, marca: ALPER, modelo: L2(ALP-IP-HP1-50), procedência: não declarada, com corpo em liga de alumínio, potência nominal: 50W, fluxo luminoso declarado: 4259 lm, fator de potência: >0,95; T.H.D.: ≤ 10%; I.R.C.: ≥70; Temperatura de Cor: 4100K±200; tensão de alimentação: 185V-305VAC; grau de proteção: IP 66; Vida Útil: 65.000 horas@L70equipada com 1 módulo LED do tipo 4000K 70Q55R, cada módulo com 18 Leds, , marca: não declarada, procedência: não declarada; equipada com driver interno, marca: INVENTRONICS com os seguintes dados de placa: constant current type, dimming: 10%-100%, modelo: EUC-075S105DV-HP01, input: 100-277Vac, 50/60Hz, 0,9A@100Vac, output: 36-72Vdc, 0,92A, output power: 66,2W, tc=90ºC, ta=70 ºC, MADE IN CHINA.
4. **Cliente:** **PREFEITURA USP - CAMPUS SÃO PAULO**
   Endereço: Rua xxxxxxxxxxx, xxx
   Cep: 05508-010
   Cidade/Estado: São Paulo – S.P.
   Contato: Enéa
5. **Interessado:** **PREFEITURA USP - CAMPUS SÃO PAULO**
   Endereço: Rua xxxxxxxxxxx, xxx
   Cep: 05508-010
   Cidade/Estado: São Paulo – S.P.
   Contato: Enéa
6. **Objetivo:** Levantamento de curva fotométrica em dois planos e determinação das Características Elétricas, Fotométricas e Radiométricas.
7. **Norma e/ou Procedimento:** Conforme Procedimento Interno nº 2004NF00PR028Y
8. **Resultados Obtidos:** Os valores obtidos são os constantes das **TABELAS I** e **II**, e do **GRÁFICO I**
9. **Condições de Ensaio**
   9.1. Distância entre o centro fotométrico da lâmpada e o fotoelemento: (4,04 ± 0,01) m;
   9.2. O conjunto lâmpada-luminária foi energizado através de uma fonte estabilizada senoidal na tensão de 220,0 V;
   9.3. Plano 0-180: Plano Longitudinal;
   9.4. Plano 90-270: Plano Transversal.
10. **Observações:**
   10.1 O corpo de prova foi recebido em: 15/01/2014
   10.2 Ensaio realizado em: 15/01/2014 a 26/08/2014
   Este Documento é cópia integral e fiel do original impresso e assinado que estará à disposição no IEE/USP.

• *A reprodução deste documento não pode ser parcial e depende da aprovação por escrito do laboratório;*
• *Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido aos ensaios nas condições especificada não sendo extensivos a quaisquer lotes;*
• *O IEE-USP manterá o original deste documento arquivado por um período de cinco anos, no mínimo.*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE FOTOMETRIA

Av. Luciano Gualberto, 1289 • Cidade Universitária • Butantã
CEP 05508-010 • São Paulo • SP • BRASIL • www.iee.usp.br
Telefones: 11 3091-2501 • Fax 11 3032-7750 / 3812-3352
CNPJ: 63.025.530/0042-82 • Inscrição Estadual: isento

Relatório de Ensaio Nº xx.xxx	Folha
	2 de 4

TABELA I – CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS E FOTOMÉTRICAS - O.S. 2014xxxxx-x

GRANDEZA	RESULTADO
Tensão (V)	220,0
Corrente (A)	0,248
Potência (W)	53,1
Fator de Potência	0,973
Temperatura de Cor (K)	4166
Fluxo Luminoso (lm)	5004
Eficiência Luminosa (lm/W)	94
Distorção Harmônica Total da Corrente de Alimentação (T.H.D.) (%)	7,81

TABELA II – DISTRIBUIÇÃO DE INTENSIDADES LUMINOSAS - O.S. 2014xxxxx-x
VALORES EM CANDELAS

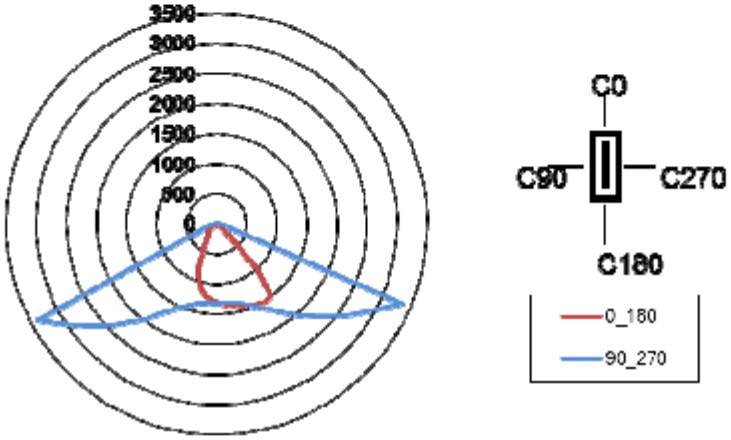
θ (GRAUS)	Ø = 0°	Ø = 180°	Ø = 90°	Ø = 270°
0	1328,6	1328,6	1323,7	1323,7
5	1361,2	1287,8	1331,8	1322,0
10	1398,8	1230,6	1348,2	1322,0
15	1444,5	1142,5	1398,8	1348,2
20	1468,9	972,8	1472,2	1411,8
25	1490,2	759,0	1566,9	1493,4
30	1534,2	517,4	1682,8	1602,8
35	1508,1	344,4	1836,2	1762,7
40	972,8	253,0	2040,2	1974,9
45	308,5	223,6	2247,5	2200,2
50	158,3	199,1	2487,4	2469,5
55	119,1	163,2	2733,9	2746,9
60	93,0	114,3	3003,2	3042,3
65	76,7	80,0	3345,9	3383,5
70	57,1	60,1	269,3	300,6
75	34,3	35,4	205,7	253,0
80	14,0	15,7	35,9	36,4
85	1,3	2,1	13,2	13,5
90	0,2	0,3	4,6	5,0

• *A reprodução deste documento não pode ser parcial e depende da aprovação por escrito do laboratório;*
• *Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido aos ensaios nas condições especificadas não sendo extensivos a quaisquer lotes;*
• *O IEE-USP manterá o original deste documento arquivado por um período de cinco anos, no mínimo.*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE FOTOMETRIA

Relatório de Ensaio Nº xx.xxx	Folha
	3 de 4

GRÁFICO I – CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE INTENSIDADES LUMINOSAS NOS PLANOS 0°-180° E 90°-270° - OS 2014xxxx-x VALORES EM CANDELAS



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE FOTOMETRIA

Relatório de Ensaio Nº xx.xxx	Folha
	4 de 4

TABELA III – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

EQUIPAMENTO	M.T.
Luxímetro Digital, marca LMT, modelo S1000	1079
Wattímetro, marca XITRON, modelo 2551	1442
Trena Metálica, marca Stanley, modelo TP-50	91
Goniômetro tipo A	1234
Medidor de ângulo digital, marca Mitutoyo, modelo PRO 360	1020
Medidor de ângulo digital, marca Mitutoyo, modelo PRO 360	1021
Termohigrômetro, marca MINIPA, modelo MT 241	1388

****

São Paulo, 25 de agosto de 2014.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE FOTOMETRIA

Av. Luciano Gualberto, 1289 • Cidade Universitária • Butantã
CEP 05508-010 • São Paulo • SP • BRASIL • www.iee.usp.br
Telefones: 11 3091-2501 • Fax 11 3032-7750 / 3812-3352
CNPJ: 63.025.530/0042-82 • Inscrição Estadual: Isento

Relatório de Ensaio Nº xx.xxx	Folha
	1 de 4

1. **Laboratório Responsável:** SICADEE-04 - SERVIÇO TÉCNICO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO, CONDIC. AMBIENTAL E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES
2. **Ordem de Serviço** **nº 2014xxx-x**
3. **Descrição do corpo de prova:**
   Uma luminária fechada para iluminação pública, ID: 1230, marca: ALPER, modelo: L3(ALP-IP-HP1-100), procedência: não declarada, com corpo em liga de alumínio, potência nominal: 100W, fluxo luminoso declarado: 8500 lm, fator de potência: >0,95; T.H.D.: ≤ 10%; I.R.C.: ≥70; Temperatura de Cor: 4100K±200; tensão de alimentação: 185V-305VAC; grau de proteção: IP 66; Vida Útil: 65.000 horas @L70 equipada com 2 módulos LED do tipo 4000k 70Q55R, cada módulo com 18 Leds, marca: não declarada, procedência: não declarada; equipada com driver interno, marca: INVENTRONICS com os seguintes dados de placa: constant current type, dimming: 10%-100%, modelo: EUC-120S105DV-HP01, input: 176-264Vac, 50/60Hz, 0,75A@220Vac, output: 90-118Vdc, 0,9A, output power: 106,2W, tc=90ºC, ta=65 ºC, MADE IN CHINA.
4. **Cliente:** **PREFEITURA USP - CAMPUS SÃO PAULO**
   Endereço: Rua xxxxxxxxxxx, xxx
   Cep: 05508-010
   Cidade/Estado: São Paulo – S.P.
   Contato: Enéa
5. **Interessado:** **PREFEITURA USP - CAMPUS SÃO PAULO**
   Endereço: Rua xxxxxxxxxxx, xxx
   Cep: 05508-010
   Cidade/Estado: São Paulo – S.P.
   Contato: Enéa
6. **Objetivo:** Levantamento de curva fotométrica em dois planos e determinação das Características Elétricas, Fotométricas e Radiométricas.
7. **Norma e/ou Procedimento:** Conforme Procedimento Interno nº 2004NF00PR028Y
8. **Resultados Obtidos:** Os valores obtidos são os constantes das **TABELAS I** e **II**, e do **GRÁFICO I**
9. **Condições de Ensaio**
   9.1. Distância entre o centro fotométrico da lâmpada e o fotoelemento: (4,04 ± 0,01) m;
   9.2. O conjunto lâmpada-luminária foi energizado através de uma fonte estabilizada senoidal na tensão de 220,0 V;
   9.3. Plano 0-180: Plano Longitudinal;
   9.4. Plano 90-270: Plano Transversal.
10. **Observações:**
   10.1 O corpo de prova foi recebido em: 15/01/2014
   10.2 Ensaio realizado em: 15/01/2014 a 26/08/2014
   Este Documento é cópia integral e fiel do original impresso e assinado que estará à disposição no IEE/USP.

• *A reprodução deste documento não pode ser parcial e depende da aprovação por escrito do laboratório;*
• *Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido aos ensaios nas condições especificadas não sendo extensivos a quaisquer lotes;*
• *O IEE-USP manterá o original deste documento arquivado por um período de cinco anos, no mínimo.*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE FOTOMETRIA

Av. Luciano Gualberto, 1289 • Cidade Universitária • Butantã
CEP 05508-010 • São Paulo • SP • BRASIL • www.iee.usp.br
Telefones: 11 3091-2501 • Fax 11 3032-7750 / 3812-3352
CNPJ: 63.025.530/0042-82 • Inscrição Estadual: isento

Relatório de Ensaio Nº xx.xxx

TABELA I – CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS E FOTOMÉTRICAS - O.S. 2014xxx-x

GRANDEZA	RESULTADO
Tensão (V)	220,1
Corrente (A)	0,477
Potência (W)	102,6
Fator de Potência	0,977
Temperatura de Cor (K)	4254
Fluxo Luminoso (lm)	10.013
Eficiência Luminosa (lm/W)	98
Distorção Harmônica Total da Corrente de Alimentação (T.H.D.) (%)	6,21

TABELA II – DISTRIBUIÇÃO DE INTENSIDADES LUMINOSAS - O.S. 2014xxx-x
VALORES EM CANDELAS

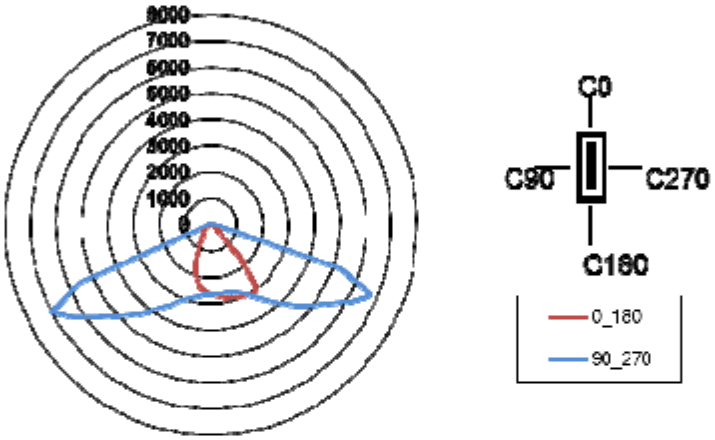
θ (GRAUS)	Ø = 0º	Ø = 180º	Ø = 90º	Ø = 270º
0	2676,7	2676,7	2662,1	2662,1
5	2742,0	2611,5	2660,4	2676,7
10	2840,0	2497,2	2649,0	2709,4
15	2905,2	2307,9	2693,1	2807,3
20	2954,2	1974,9	2807,3	2937,9
25	3019,5	1558,7	2954,2	3133,7
30	3117,4	1064,2	3231,7	3394,9
35	2921,6	705,1	3623,4	3770,3
40	1730,1	499,4	4047,8	4211,0
45	457,0	434,2	4472,1	4619,0
50	277,5	386,8	4961,8	5092,3
55	212,2	318,3	5451,4	5647,3
60	163,2	223,6	6169,6	6414,4
65	132,2	155,1	6757,1	7018,3
70	102,8	111,0	5353,5	5631,0
75	66,9	75,1	408,0	440,7
80	35,9	42,4	80,0	83,2
85	6,5	14,7	26,1	31,0
90	0,5	0,5	8,2	9,8

• *A reprodução deste documento não pode ser parcial e depende da aprovação por escrito do laboratório;*
• *Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido aos ensaios nas condições especificada não sendo extensivos a quaisquer lotes;*
• *O IEE-USP manterá o original deste documento arquivado por um período de cinco anos, no mínimo.*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE FOTOMETRIA

Relatório de Ensaio Nº xx.xxx	Folha
	3 de 4

GRÁFICO I – CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE INTENSIDADES LUMINOSAS NOS PLANOS 0°-180° E 90°-270° - OS 2014xxx-x VALORES EM CANDELAS



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE FOTOMETRIA

Relatório de Ensaio Nº xx.xxx

Folha
4 de 4

TABELA III – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

EQUIPAMENTO	M.T.
Luxímetro Digital, marca LMT, modelo S1000	1079
Wattímetro, marca XITRON, modelo 2551	1442
Trena Metálica, marca Stanley, modelo TP-50	91
Goniômetro tipo A	1234
Medidor de ângulo digital, marca Mitutoyo, modelo PRO 360	1020
Medidor de ângulo digital, marca Mitutoyo, modelo PRO 360	1021
Termohigrômetro, marca MINIPA, modelo MT 241	1388

****

São Paulo, 25 de agosto de 2014.