

André Vitor Bonora

**Controle de Iluminação Utilizando Dimerização Por Lógica Fuzzy,
Compensando A Iluminação Natural**

Dissertação de

Mestrado para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo

Mário Dias.

Área: Sistemas de Potência

PEA - EPUSP

São Paulo

2000

aos meus pais,
Djalma e Lucila,
e à minha esposa Vanda,
do fundo do coração.



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA**

**TERMO DE JULGAMENTO
DE
DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Aos 11 dias do mês de outubro de 2000, às 14:30 horas, no Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, presente a Comissão Julgadora, integrada pelos Senhores Professores Doutores Eduardo Mário Dias orientador do candidato, Sergio Luiz Pereira e José Antonio Lerosa de Siqueira iniciou-se a Defesa de Dissertação de Mestrado do Sr. **ANDRÉ VITOR**

BONORA.

Título da Dissertação: "CONTROLE DE ILUMINAÇÃO UTILIZANDO DIMERIZAÇÃO POR LÓGICA FUZZY, COMPENSANDO A ILUMINAÇÃO NATURAL".

Concluída a arguição, procedeu-se ao julgamento na forma regulamentar, tendo a Comissão Julgadora considerado o candidato:

Prof.Dr.Eduardo Mário Dias..... (APROVADO)
 Prof.Dr.Sergio Luiz Pereira..... (Aprovado)
 Prof.Dr.José Antonio Lerosa de Siqueira.. (APROVADO)

Para constar, é lavrado o presente termo, que vai assinado pela Comissão Julgadora e pela Secretária de Pós-Graduação.

São Paulo, 10 de outubro de 2000.

A COMISSÃO JULGADORA

Secretária: Elisabete. Ap^a F. S. Ramos

Obs: Resolução 4476, de 17.09.1997 Altera dispositivos do Regimento Geral da USP Art.109 - Imediatamente após o encerramento da arguição da dissertação ou da tese cada examinador expressará seu julgamento em sessão secreta, considerando o candidato aprovado ou reprovado.

Homologado pela C.P.G. em reunião realizada 13/10/2000

Bonora, André Vitor

Controle de Iluminação Utilizando Dimerização Por Lógica Fuzzy,
Compensando A Iluminação Natural. São Paulo, 2000.
90 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica.

1. controle de iluminação compensando a iluminação natural. | Universidade
de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e
Automação Elétrica.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, acima de tudo, por ter-me criado na sua infinita bondade e misericórdia, dando-me, mesmo sem merecer, tudo o que é necessário para a minha felicidade e sucesso.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Mário Dias, pelas orientações a mim dirigidas durante o mestrado.

Agradeço a todos os professores, alunos e funcionários da FACENS – Faculdade de Engenharia de Sorocaba - pelo apoio e incentivo nesta difícil jornada.

Agradeço ao Prof. Dr. Sergio Pereira, do PEA-USP, por toda a ajuda e apoio a mim dirigidos.

Agradeço ao Dr. Evaldo Farqui, que abriu-me as portas da CODESP – Cia. Docas do Estado de São Paulo – e não mediu forças para ajudar-me nesta tão difícil tarefa.

Quero agradecer aos meus pais, por terem dado-me a oportunidade de ingressar numa escola e não medir esforços para que eu continue os estudos, mesmo passando por dificuldades. Mas, acima de tudo, agradeço a eles pela minha fé cristã, a maior herança que alguém pode receber de seus antepassados e que deve ser continuada nos filhos e netos, até o fim dos tempos.

Finalmente, agradeço todo o amor e compreensão de minha esposa Vanda a quem, junto com meus pais, dedico este trabalho.

SUMÁRIO

Lista de figuras	
Lista de tabelas	
Lista de Abreviaturas	
Resumo	
"Abstract"	

1. ESTADO DA ARTE E METODOLOGIA PROPOSTA	12
1.1 Dimerização de lâmpadas	12
1.1.2 Definição	12
1.1.3 Processos convencionais	12
1.1.4 Configurações de dimerização	14
1.1.5 Benefícios da dimerização	15
1.1.6 A lógica <i>fuzzy</i> como alternativa	15
2. METODOLOGIA PROPOSTA	17
2.1 A lógica <i>fuzzy</i>	17
2.1.1 Definição	17
2.1.2 Conjuntos <i>Fuzzy</i>	17
2.1.3 Inferência <i>Fuzzy</i> ou de Senso Comum	18
2.1.4 Operadores Lógicos	19
2.1.5 Regras <i>if-then</i>	20
2.1.6 "Defuzzyficação"	21
2.1.7 Características da Lógica <i>Fuzzy</i>	22
2.1.8 Controle <i>Fuzzy</i> – vantagens	23
2.1.9 Exemplos de Aplicação	23
2.1.10 Proposta da Dissertação	24
3. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP) E SEU USO COM LÓGICA FUZZY	25
3.1 Definição	25
3.2 Partes fundamentais do CLP	25
3.3 Principais características técnicas	28
3.4 O CLP nos processos de automação industrial	28
3.5 Importantes aspectos na escolha do CLP	29
3.6 Utilização do CLP no processo industrial automatizado	30
3.7 Normalização do CLP – Norma IEC 1131-1	31
3.8 CLP's com lógica <i>fuzzy</i>	34
3.9 Mesclando CLP e lógica <i>fuzzy</i>	35
3.10 Aplicações do <i>fuzzy</i> CLP	36
4. MODELAGEM PROPOSTA	37
4.1 Sistemas de Iluminação Natural	37
4.2 Modelagem adotada	38
4.3 Casos Práticos Analisados	40
4.3.1 Instalação Residencial	40

4.3.2 Instalação Comercial	47
5. MÉTODOS PROPOSTOS PARA CONTROLE DE ILUMINAÇÃO	50
5.1 Metodologia Proposta	50
5.2 Aplicação do método do luxímetro para a instalação Residencial	50
5.3 Método do Luxímetro para a instalação comercial	58
5.4 Considerações sobre as medições acima efetuadas	61
6. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA NOS CASOS ANALISADOS	63
6.1 Processos de dimerização adotados	63
6.2 Relações condicionais	63
6.3 Simulação do Sistema	66
6.4 Determinação do consumo energético	80
7. CONCLUSÕES	82
APÊNDICE A: Funções de Pertinência	84
Referências	89

Lista de figuras

Figura 1.1 <i>Dimmer</i> de lâmpadas incandescentes	13
Figura 1.2 <i>Dimmer</i> de lâmpadas fluorescentes	13
Figura 2.1 Funções de Pertinência	18
Figura 2.2 <i>Defuzzyficação</i> pelo método do centróide	22
Figura 4.1 Posicionamento dos recintos na instalação residencial	40
Figura 4.2 Distribuição das luminárias nos recintos da instalação residencial	47
Figura 4.3 Distribuição das luminárias nos recintos da instalação comercial	49
Figura 5.1 Pontos de medição de <i>E</i> na instalação residencial	51
Figura 5.2 Posicionamento dos pontos para medição da instalação comercial	59

Lista de tabelas

Tabela 2.1 Tabela verdade – lógica binária	19
Tabela 2.2 Tabela verdade – lógica fuzzy	20
Tabela 3.1 Sumário de funções programadas	32
Tabela 4.1 Iluminamento médio na inst. residencial – níveis recomendados	41
Tabela 4.2 Dados geométricos e cores dos recintos no pavimento térreo	41
Tabela 4.3 Dados geométricos e cores dos recintos no pavimento superior	42
Tabela 4.4 Índice de reflexão – classificação	42
Tabela 4.5 Índice de reflexão dos recintos	43
Tabela 4.6 Índice do local para os recintos	44
Tabela 4.7 Coeficientes de utilização para luminária embutida no teto tipo “olho de Moscou”	44
Tabela 4.8 Coeficiente de utilização para os recintos	45
Tabela 4.9 Número de luminárias dos recintos	46
Tabela 5.1a Valores médios de <i>E</i> , em função do tempo	52
Tabela 5.1b Idem tab. 5.1a	53
Tabela 5.1c Idem tab, 5.1a	54
Tabela 5.1d Idem tab. 5.1a	55

Tabela 5.1e Idem tab. 5.1a	56
Tabela 5.1f Idem tab. 5.1a	57
Tabela 5.1g Valores médios de E, em função do tempo, lado externo	58
Tabela 5.2a Valores médios de E, em função do tempo, na instalação comercial, parte interna	60
Tabela 5.2b Idem tab. 5.2a, parte externa	61
Tabela 6.1a Valores de V para as lâmpadas	67
Tabela 6.1b Valores de P para as lâmpadas	68
Tabela 6.2a Idem tab. 6.1a	69
Tabela 6.2b Idem tab. 6.1b	70
Tabela 6.3a Idem tab. 6.1a	71
Tabela 6.3b Idem tab. 6.1b	72
Tabela 6.4a Idem tab. 6.1a	73
Tabela 6.4b Idem tab. 6.1b	74
Tabela 6.5a Idem tab. 6.1a	75
Tabela 6.5b Idem tab. 6.1b	76
Tabela 6.6a Idem tab. 6.1a	77
Tabela 6.6b Idem tab. 6.1b	78
Tabela 6.7 Valores de P - instalação comercial	79

Lista de siglas e abreviações

A/D – analógico/digital

CA – corrente alternada

CAD – *computer aided design*

CLP – controlador lógico programável

CPU – *control processing unit*

ELD – extra luz-do-dia

EPROM – *erasable programmable ready only memory*

E/S – entrada/saída

HID – *high intensity device*

IEC – *International Electrotechnical Commission*

IHM – interface homem-máquina

NBR – norma brasileira renovada

PID – proporcional-integrador-derivativo

PWM – *pulse width modulation*

RAM – random access memory

VPL – valor de pico de luminosidade

RESUMO

Este trabalho apresenta os processos de variação da potência da iluminação, tanto para lâmpadas incandescentes como para fluorescentes, denominados mais tecnicamente de "*dimmerização*".

Apresenta também a lógica "*fuzzy*" para tratamento de dados analógicos entre os limites lógicos 0 e 1. Esta lógica utiliza-se de premissas (ou regras) e funções especiais, denominadas funções de pertinência, para tratamento mais refinado destes dados.

Estuda a aplicação dos CLP's (Controladores Lógico Programáveis) para controle da iluminação automática de recintos residenciais e comerciais, baseados na lógica "*fuzzy*" ("*fuzzyCLP*").

Por fim, apresenta o estudo de duas edificações separadas (residência e escritório de contabilidade) para a máxima utilização da iluminação natural, sendo compensada pelas fontes artificiais, controladas pelo "*fuzzyCLP*".

ABSTRACT

This work presents the process, technically known as "dimming", for changing the illumination power level for both incandescent and fluorescent lamps.

It also presents the fuzzy logic, to treat analogical data between 0 and 1. This logic uses premises (rules) and special functions, called pertaining functions, to give a more refined treatment to these data.

The application of PLC's (Programmable Logic Controllers) to control the automatic illumination of residencial and commercial spaces, based on fuzzy logic (fuzzy PLC) is also studied.

At last, it presents the study of two separeted buldings (a residence and a bookkeeping office), for maximal use of natural illumination, being compensated by artificial light sources, controlled by the fuzzy PLC.

1. ESTADO DA ARTE E METODOLOGIA PROPOSTA

1.1 Dimerização de Lâmpadas

1.1.2 Definição

Podemos definir dimerização como um processo de redução da potência das lâmpadas elétricas em conformidade com a exata iluminação necessária para o usuário ou tarefa de trabalho [SMARTER ENERGY, 1999].

Geralmente a dimerização é efetuada graças a um sistema denominado *dimmer*.

1.1.3 Processos convencionais

Várias são as tecnologias aplicáveis para o processo de dimerização. Podemos relacioná-las como sendo:

1) *Dimmer* Manual: utilizado em lâmpadas incandescentes, fluorescentes e certas fontes de descarga de alta intensidade (HID). Processos de dimerização contínua geralmente são para incandescentes. Os métodos de dimerização múltipla são geralmente para fluorescentes e fontes HID, contudo dimerização para fontes HID é limitada por resolução de cores e problemas com efeito *flicker*.

Abaixo estão mostrados dois circuitos típicos de *dimmers*:

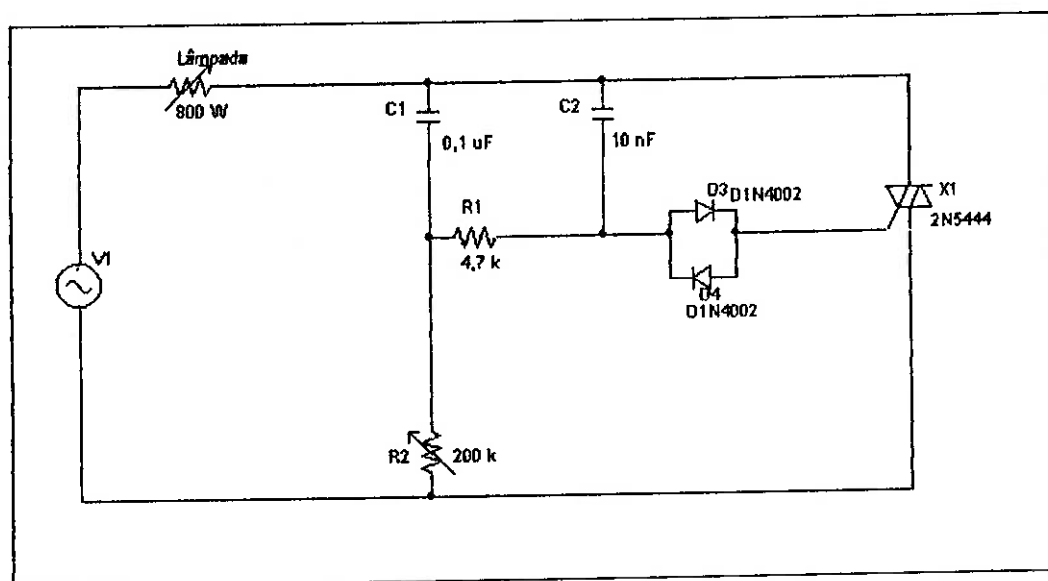


Fig. 1.1 - Dimmers de lâmpadas incandescentes

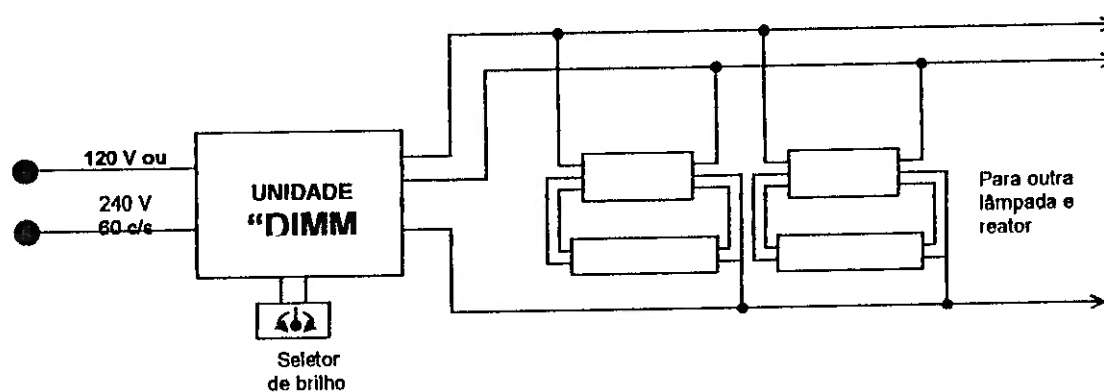


Fig. 1.2 Dimmer para lâmpadas fluorescentes

II) *Dimmer* tipo Fotossensor Ativado: atualmente, o controle de iluminação natural pode ser a mais importante técnica de dimerização. Este tipo de sistema requer, sem dúvida, um cuidadoso processo de integração do sistema de controle e sensoreamento.

III) *Dimmer* Programável: o usuário pode programar os níveis de iluminação

adequados às tarefas usuais do recinto.

1.1.4 Configurações de dimerização

O principal objetivo do uso da dimerização é o controle do consumo energético na iluminação. Assim, podemos relacionar as seguintes configurações de controle de iluminação mais comuns que envolvem dimerização:

- I) **Precisão:** tem por objetivo reduzir a potência das lâmpadas de acordo com a iluminação realmente necessária ao usuário e à sua tarefa de trabalho;
- II) **Luz Natural:** um sistema de fotossensores ligados à unidade de dimerização variam as grandezas fotométricas em resposta à iluminação natural através das janelas e clarabóias;
- III) **Manutenção do Fluxo Luminoso:** é feita pelo uso de fotocélulas que mantém iluminação constante através de manutenção cíclica (a cada troca de lâmpadas);
- IV) **Controle de Demanda de Iluminação:** os níveis de iluminação elétrica podem se reduzir em 10% (ou mais) com um mínimo impacto na acuidade visual;
- V) **Compensação de Adaptação:** quando, devido à passagem de uma área pouco iluminada para área muito iluminada, o olho humano sente uma variação muito grande na sua acuidade visual. Assim, faz-se necessário um controle fotométrico para não provocar ofuscamento quando, por exemplo, o motorista sai de uma região ensolarada para entrar num túnel.

1.1.5 Benefícios da dimerização

Vários são os benefícios, entre eles:

- I) Economia de 30 a 40% no consumo de iluminação;
- II) Economia de 12 a 20% na manutenção do fluxo luminoso, em comparação aos sistemas de manutenção cíclica;
- III) Os planejamentos estratégicos de demanda de iluminação reduzem em 10% (ou mais) os níveis de iluminação com mínimo impacto na acuidade visual e na produtividade das linhas de produção;

1.1.6 A lógica *fuzzy* como alternativa

No mundo automatizado que temos hoje, está claro que processos de automação imprecisos e de baixa confiabilidade tendem a se tornar obsoletos e inviáveis. Para substituir estes antiquados processos, é sugerido aqui a aplicação da lógica matemática dos números difusos, também denominada de lógica *fuzzy*.

A lógica *fuzzy* possui a vantagem de tratar os dados do processo com uma linguagem próxima ao natural facilitando, assim, a flexibilização do processo.

Nesta proposta, analisaremos a utilização de CLP's com lógica *fuzzy* acoplada, sendo utilizada na iluminação residencial com lâmpadas incandescentes, e comercial, com lâmpadas fluorescentes, com, ainda, o máximo aproveitamento da luz natural. Os objetos de estudo serão uma instalação residencial de dois pavimentos, situada na cidade de Sorocaba, Estado de São Paulo, Brasil, e uma instalação comercial, situada na mesma cidade.

Está claro que, à medida que sofisticamos o processo, também otimizam o seu custo e sua implantação, face aos avanços tecnológicos, viabilizando a

implantação desta lógica em diversos processos.

2. METODOLOGIA PROPOSTA

2.1 A lógica *fuzzy*

2.1.1 Definição

A lógica *fuzzy* pode ser definida como a lógica que trata os modos de raciocínio que são aproximados, ao invés de exatos [DRIANTKOV, D et alli, 1991]. Isto não significa que, para a lógica *fuzzy*, exista o *talvez*, mas, sim, o *provável*. Outra definição que pode ser utilizada é a da lógica que faz o estudo de um conjunto de informações vagas, difusas, descritas em linguagem natural e as transforma em informações de formato numérico, de fácil manipulação computacional.

2.1.2 Conjuntos *Fuzzy*

Um conjunto *fuzzy* pode ser definido como sendo o conjunto X definido no espaço de entradas U (também conhecido como universo de discurso) caracterizado por uma função de pertinência μ_X (em inglês, *membership*), a qual faz a varredura dos valores x pertencentes a U e os transporta para o intervalo fechado $[0,1]$ [LÓGICA DIFUSA, 1999].

Assim, a cada elemento $x \in U$, existe um elemento $\mu_X(x)$ no intervalo $[0,1]$, que indica o grau de pertinência de x ao conjunto X , de forma quantitativa. Por exemplo, seja uma pessoa que possua duas garrafas transparentes, com um líquido interno, à primeira vista idêntico à água. Na primeira garrafa há uma mensagem no rótulo: PROBABILIDADE 90% ÁGUA. Na segunda garrafa há outra mensagem no rótulo: FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA 90% ÁGUA. Qual das duas garrafas a pessoa poderia beber, sem receio? Resposta: a segunda, pois 90% de probabilidade de

água significa que 10% restantes poderiam ser veneno, enquanto que 90% de pertinência em água significa que o líquido desta garrafa é 90% água pura, isto é, os 10% restantes continuam sendo água, mas um pouco menos pura.

Existem vários tipos de função de pertinência, sendo as mais usuais: triangular, trapezoidal, curva do sino, gaussiana, sigmoidal, curvas π [SIMÕES, M.G., SHAW, I.S., 1998].

Abaixo são ilustradas algumas destas funções:

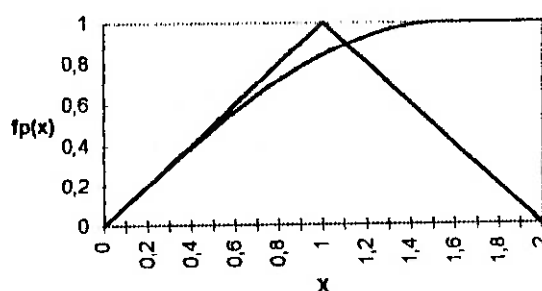


Fig. 2.1 - Funções de pertinência

2.1.3 Inferência *Fuzzy* ou de Senso Comum

É o método de inferência utilizado pela lógica *fuzzy*, que corresponde ao uso do conhecimento expresso na base linguística, ao oposto dos computadores que se utilizam de lógica binária, cujo conhecimento é descrito em valores 0 e 1 [CALDAS, L., LEONARDI F., 1999].

Abaixo faz-se uma comparação entre a inferência binária e a *fuzzy*:

1) Inferência Binária:

Premissa 1: André é humano.

Premissa 2: Todos os humanos são filhos de Deus.

Conclusão: André é filho de Deus.

II) Inferência *Fuzzy*:

Conhecimento: Se o sorvete está duro, então diminua a velocidade do motor.

Fato: o sorvete está mole.

Conclusão: aumente a velocidade do motor.

Isto é, na lógica *fuzzy* podemos escrever em linguagem praticamente natural o conhecimento das variáveis de controle do processo, usando vários predicativos: *quente, muito frio, verdade, longe, perto, rápido, vagaroso, médio, mais ou menos, pouco, bastante, usualmente, em torno de, provável, improvável, etc.*

2.1.4 Operadores Lógicos

Os operadores lógicos da lógica binária são *and*, *or* e *not*, cuja tabela verdade é dada abaixo, para duas variáveis A e B:

A	B	A and B	A or B	not A
0	0	0	0	1
0	1	0	1	1
1	0	0	1	0
1	1	1	1	0

Tab. 2.1 Tabela verdade - lógica binária

Na lógica *fuzzy* os operadores levam em consideração que os valores de A e B podem variar no intervalo [0,1]. Então os operadores lógicos se definem por valores máximos e mínimos destas variáveis: *min*, *máx*, $1 - A$ (complemento aditivo).

A seguir, a tabela verdade da lógica *fuzzy* para duas variáveis A e B:

A	B	<i>min</i> (A,B)	<i>máx</i> (A,B)	$1 - A$
0	0	0	0	1
0	1	0	1	1
1	0	0	1	0
1	1	1	1	0

Tab. 2.2 Tabela verdade - lógica fuzzy

Nota-se que, pela última coluna de ambas as tabelas, a resposta é praticamente a mesma, mas a análise foi feita de forma distinta entre elas.

2.1.5 Regras *if-then*

A praticidade da lógica *fuzzy* está na construções de regras condicionais, que descrevem como as variáveis devem ser tratadas, utilizando-se da linguagem mais natural possível, entre os predicativos já citados.

A forma geral das regras condicionais é:

***if* < expressão 1 > *then* < expressão 2 >**

onde: expressão 1 = antecedente ou premissa.

expressão 2 = conseqüente ou conclusão.

Geralmente, tanto o antecedente como o conseqüente podem possuir mais expressões, que serão proporcionais ao número de variáveis a serem controladas.

Por exemplo, num restaurante:

se serviço **está** ruim **ou** comida **está** sem sabor **então** gorjeta **é** pequena.

A interpretação de uma regra *if-then* deve seguir os seguintes passos:

- I) calcular o antecedente ("*fuzzyficar*" as entradas, fazendo as operações necessárias);
- II) aplicar o resultado do antecedente ao conseqüente (processo de implicação);

Regra: se um antecedente é verdadeiro com um certo grau de pertinência, então o conseqüente também é verdadeiro com o mesmo grau.

Assim, em lógica binária: $x \rightarrow y$

E, em lógica *fuzzy*: $0,3.x \rightarrow 0,3.y$

2.1.6 "Defuzzyficação"

Conseqüentemente das regras *if-then*, a saída é um conjunto *fuzzy*. Contudo, como que, de um conjunto *fuzzy*, obter-se um único número como resposta ?

A este processo de converter um conjunto *fuzzy* em um único valor numérico dá-se a denominação de "*defuzzyficação*".

O processo mais utilizado para a "*defuzzyficação*" é feito em duas etapas:

- I) agregam-se todos os conjuntos *fuzzy* em um único;
- II) aplica-se o cálculo do centróide da figura formada por este único conjunto *fuzzy*.

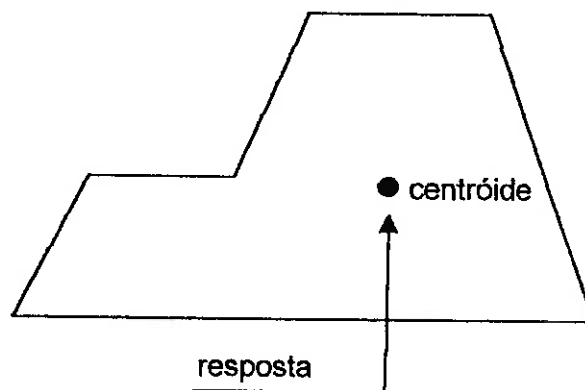


Fig. 2.2 Defuzzyficação pelo método do centróide

Assim, o valor numérico do centróide será a resposta de saída de todos os conjuntos agregados, para aquela variável especificada.

2.1.7 Características da Lógica Fuzzy

A lógica *fuzzy* possui as seguintes características:

- I) É baseada em expressões linguísticas e não em números;
- II) Utiliza vários predicativos;
- III) Utiliza amplo conjunto de quantificadores;
- IV) Utiliza probabilidades linguísticas;

Estas características são completamente adaptáveis a cada processo, dentro das necessidades.

2.1.8 Controle *Fuzzy* - Vantagens

Como pode-se perceber, a lógica *fuzzy* pode ser aplicada a controle de processos, implementada em microprocessadores adequados, formando controladores *fuzzy*, em conjunto a sistemas de sensoramento [LÓGICA DIFUSA, 1999].

As vantagens deste tipo de controle são:

- I) Simplifica o modelo do processo;
- II) Trata melhor as imprecisões pertencentes aos sensores;
- III) Facilita na especificação das regras de controle;
- IV) Satisfaz os múltiplos objetivos de controle;
- V) Facilita a incorporação de especialistas humanos.

2.1.9 Exemplos de aplicação

As aplicações de lógica *fuzzy* são inúmeras:

- I) Área doméstica: geladeiras, máquinas de lavar roupa, câmeras de vídeo, etc.;
- II) Área industrial: transmissão automática, sistemas de freios ABS, robótica, etc.
- III) Área comercial: sistemas de elevação de cargas (elevadores);
- IV) Área de transportes: parada e partida de trens, transporte metropolitano (metrô), etc.

Enfim, as perspectivas de aplicação de lógica *fuzzy* devem aumentar cada vez mais, daqui para frente [von ALTROCK, C., GEBHARDT, J., 1996].

2.1.10 Proposta da Dissertação

A proposta da dissertação é a utilização da lógica *fuzzy* em conjunto com o controlador lógico programável, controlando os níveis de iluminação interna da instalação, compensando a luz natural. O controle de iluminação seguirá o seguinte planejamento:

- através de janelas e/ou portas envidraçadas, a luz solar entrará no recinto, durante um determinado período de tempo;
- sensores externos à instalação receberão dados do iluminamento médio da luz solar e enviarão este dado ao CLP;
- o CLP, programado com a lógica *fuzzy* (*fuzzyCLP*), analisará os dados e enviará às lâmpadas o nível de potência adequado para compensar o iluminamento médio que estiver insuficiente ao recinto para a execução correta da tarefa do usuário.

O controle será todo feito em malha aberta, pela impossibilidade (até o presente momento) da instalação de sensores ópticos para analisarem os valores corretos do iluminamento médio no ponto de execução da tarefa do usuário.

3. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP) E SEU USO COM LÓGICA FUZZY

3.1 Definição

O Controlador Lógico Programável (CLP) é um dispositivo ou uma tecnologia de automação, eletrônico, de estado sólido, constituído de módulos de entrada e saída, memórias e estrutura de programação, que pode executar funções idênticas às de um painel de relés ou de um sistema de controle lógico [MICHELL, G., 1998].

O CLP monitora os dados de entrada e saída (digitais ou analógicos), de acordo com as instruções de programação, e envia dados às saídas, energizando-as ou não, sendo tudo feito de forma cíclica. Nas memórias internas, ficam registrados os dados de entrada e saída e de processamento do programa do usuário, podendo ser modificados a cada ciclo de programação.

Em suma, o CLP realiza duas tarefas básicas: execução do programa interno e varredura das entradas e saídas.

3.2 Partes fundamentais do CLP

Do ponto de vista básico, o CLP apresenta as seguintes partes fundamentais:

a) Fonte de alimentação

Assim como nos microcomputadores, o CLP possui uma fonte de alimentação que recebe energia em CA. Caso falte energia elétrica da rede, há uma bateria interna que mantém a área de programação e memorização energizadas, para se manter o ciclo interno. A fonte é projetada para proteger o CLP contra picos de tensão e flutuações, na faixa de 10 a 15%. Acima disso, é recomendável a instalação de um estabilizador de tensão junto ao dispositivo. Deve-se tomar cuidado em isolar o CLP

de interferências eletromagnéticas, através da instalação de um transformador de isolamento. Caso contrário, estes ruídos serão altamente prejudiciais ao dispositivo e a seu perfeito funcionamento;

b) Unidade central de processamento ("CPU"):

A "CPU" compõe-se principalmente de circuitos de controle da interpretação e execução do programa. A "CPU" apresenta basicamente as funções de executar programas do usuário e atualizar dados das memórias de dados;

c) Memórias: do usuário, de dados, memória-imagem das E/S:

A memória básica do CLP é em "EPROM" , programada pelo fabricante, executando as funções de inicialização do CLP, armazenamento do programa executivo (sistema operacional) e gerenciamento do roteiro dos dados e da seqüência de operação. As memórias subdividem-se nas seguintes modalidades:

c.1) Memória do usuário:

A função principal desta memória é armazenar o programa fornecido pelo usuário. Aqui, entra-se com o programa desejado para o equipamento. A versatilidade do CLP encontra-se nesta área, uma vez que o mesmo equipamento pode mudar de programação a cada nova aplicação. O programa do usuário é introduzido no CLP pelo terminal de programação. A cada ciclo fechado de execução, o programa faz a varredura das entradas e saídas, atualiza as memórias-imagem das entradas e saídas e manipula os dados das variáveis. Deve-se tomar cuidado com esta memória, pois a mesma volátil, ou seja, na falha de alimentação, seu conteúdo estará completamente perdido. Para evitar perda do programa do usuário, recomenda-se fazer "*backup's*" do mesmo;

c.2) Memória-imagem das E/S:

A função desta memória é a interligação entre o CLP e os demais equipamentos. Tudo que o programa do usuário precisa sobre a atuação do CLP e a área sensorial está nesta memória;

d) Módulos de E/S:

d.1) Entradas:

Podem ser analógicas ou digitais, dependendo da aplicação. Sua função é receber o "status" dos equipamentos auxiliares de campo (sensores e chaves). Esta interface possui isoladores óticos para acoplar um dispositivo elétrico a outro e filtros para saber se o sinal é aceitável ou não;

d.2) Saídas:

Semelhantes às entradas, também podem ser analógicas ou digitais, sendo que os modelos podem se utilizar de sistemas a relés, transistores e *triac's*. Sua função é receber a resposta do processamento do programa do usuário, armazenada na memória-imagem, e enviar aos periféricos de campo (motores, solenóides, contadores) a ordem de acionamento/desligamento;

e) Terminal de programação:

Através deste terminal, o programa do usuário é introduzido na memória do CLP. Pode ser um teclado próprio para o CLP, com simbologia em linguagem de diagrama de contatos ou outra linguagem de programação ("*Ladder*", por ex.), acoplada ao CLP, ou um microcomputador. Algumas características do terminal são importantes, tais como: auto-diagnóstico, alteração de dados "*on line*", programação de instruções, monitoração de dados, gravação e apagamento da memória;

f) Interfaces de operação:

Através destas interfaces, o CLP envia dados ao usuário de todas as operações realizadas, através de anúncio de mensagens explicativas das diversas condições do sistema, valores de variáveis alfanuméricas, gráficos, interligando-se com sistemas supervisórios para que, assim, o usuário esteja bem informado sobre todo o andamento do processo automatizado.

3.3 Principais Características Técnicas

- I) O CLP deve ser adaptável a uma determinada aplicação, característica ligada à modularidade do sistema e flexibilidade do dispositivo de se "encaixar" às necessidades específicas do mesmo;
- II) O CLP deve ser seguro em sua aplicação, pois qualquer falha pode significar sérios danos (de todas as formas) ao sistema, inclusive humanas;
- III) O CLP deve ser intercomunicável com os outros níveis hierárquicos do processo. Ou seja, deve possuir capacidade de se interligar, através de vias de comunicação, aos outros patamares do mesmo.

Não se cita aqui o item *custo*, pois o mesmo é um conceito importante, porém relativo à aplicação e ao modelo escolhido.

3.4 O CLP Nos Processos de Automação Industrial

É claro que o CLP não é o único dispositivo ou tecnologia de automação utilizado, mas podemos fazer uma comparação entre ele e os outros também utilizados, ou seja, a lógica dedicada e o microcomputador.

a) Comparando o CLP com a lógica dedicada:

- O CLP é independente do processo, algo que a lógica não possui, evidentemente, por ser dedicada;
 - Alta flexibilidade e adaptabilidade;
 - Economia de espaço e aumento de confiabilidade;
 - Manutenção simplificada;
- b) Comparando o CLP com o microcomputador:
- O CLP pode trabalhar em ambientes industriais;
 - Facilidades de comunicação com os diversos níveis hierárquicos;
 - Variedade, modularidade e qualidade de entradas e saídas satisfazem as necessidades mais exigentes;
 - Manutenção de "*software*" e "*hardware*" simplificada;

3.5 Importantes Aspectos Na Escolha Do CLP

Evidentemente, o sucesso a uma determinada aplicação do CLP depende da resposta de certos requisitos obrigatórios, particulares a cada aplicação, de suma importância para a correta escolha deste dispositivo. Um certo conhecimento de suas vantagens e especificações técnicas ajuda, e muito, na sua correta determinação. A

saber, o CLP apresenta as seguintes vantagens fundamentais:

- a) Confiabilidade;
- b) Flexibilidade;
- c) Funções avançadas;
- d) Interfaces de comunicação;
- e) Alta velocidade;

f) Sistema de diagnóstico;

3.6 Utilização Do CLP No Processo Industrial Automatizado

A aplicação de CLP's na automação de processos industriais propiciam no mercado um aumento de competitividade, gerando constantemente novos modelos para suprir as necessidades emergentes [ALLEN-BRADLEY COMPANY, 1996]. Basicamente, os processos que seguramente se utilizam de CLP's para sua automação são: empacotamento, engarrafamento, enlatamento, transporte e manuseio de materiais, usinagem, geração, transmissão e distribuição de energia, automação predial, sistemas de segurança, linhas de montagem, de pintura e tratamento de água, processos de pesagem, sinalização aeroportuária, etc...

Por ocasião do projeto de um sistema industrial automatizado, toma-se de significativa importância o estabelecimento de critérios básicos para possibilitar a decisão quanto à utilização do CLP. Os critérios mais importantes com vistas a obter-se a referida decisão abrangem os seguintes tópicos:

- Dados dos dispositivos de entrada e saída;
- Necessidades de operações especiais;
- Dados elétricos das E/S e do sistema;
- Velocidade de operação do sistema de controle;
- Necessidade de comunicações;
- Necessidade de IHM (interface homem-máquina);
- Ambiente físico em que a automação estará situada;

3.7 Normalização Do CLP - Norma IEC 1131-1

A norma internacional mais importante para o correto dimensionamento e aplicação do CLP é a norma IEC 1131, em suas cinco partes, a saber [IEC 1131-1/1131-2 INTERNATIONAL STANDARD, 1992]:

Parte 1: Informações Gerais;

Parte 2: Requerimentos necessários aos equipamentos e testes;

Parte 3: Linguagens de Programação;

Parte 4: Guia do usuário;

Parte 5: Especificação do serviço de comunicação;

Pela norma IEC 1131-1, o CLP deve possuir funções programáveis para as mais diversas aplicações, que podem ser resumidas na tabela abaixo:

Grupo de Funções	Exemplos
Controle Lógico: <ul style="list-style-type: none"> - Lógicos - Temporizadores - Contadores 	<p><i>AND, OR, NOT, XOR, flip-flops</i></p> <p><i>On-delay, off-delay, pulso de tempo</i></p> <p>Contador de pulsos para cima e para baixo</p>
Controle Seqüencial	Placa de controle seqüencial
Processamento de dados e de sinal: <ul style="list-style-type: none"> - Funções matemáticas - Manipulação de dados - Processamento analógico de sinais 	<p>Aritmética básica: <i>ADD, SUB, MUL, DIV</i></p> <p>Aritmética avançada: <i>SQRT</i>, funções trigonométricas</p> <p>Comparações: maior, menor, igual</p> <p><i>Seleção, organização, formatação, movimentação</i></p> <p>PID, integração, filtração</p>
Funções de interfaceamento: <ul style="list-style-type: none"> - Entrada/Saída - Outros sistemas - Interface Homem-Máquina - Impressoras - Memória de massa 	<p><i>Módulos de entrada e saída analógica</i></p> <p>Conversor BCD</p> <p>Protocolos de comunicação</p> <p><i>Comandos e displays</i></p> <p>Mensagens e relatórios</p> <p>Tratamento de dados</p>
Controle de execução	Periódicos e execução de eventos
Configuração do sistema	<i>Avaliação da situação do sistema</i>

Tab. 3.1 Sumário de funções programáveis

Pela norma IEC 1131-2, no que diz respeito às especificações técnicas para sua aplicação, o CLP deve se encaixar nas seguintes especificações dadas abaixo:

- Equipamento fechado, instalação permanente ou não permanente:

$$5 \leq \theta \leq 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Equipamento aberto, instalação permanente:

$$5 \leq \theta \leq 55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Equipamento aberto, instalação não permanente:

$$\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$$

onde θ_{min} e θ_{max} são especificados pelo fabricante.

- Temperatura de armazenamento:

$$-25 \leq \theta \leq 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Umidade relativa:

$$\text{Nível RH-1: } 50 \leq UR \leq 95 \%$$

$$\text{Nível RH-2: } 5 \leq UR \leq 95 \%$$

- Altitude:

$$h \leq 2000 \text{ m}$$

Nota-se que, pela tabela 3.1, a lógica *fuzzy*, até 1992, não tinha sido ainda incorporada como função de programação. Isto não significa, porém, que ela não possa ser implantada, face à alta flexibilidade, já discutida, do sistema de programação do CLP.

aos projetistas trabalharem com a realidade direta do processo e visualizar tudo num sistema supervisorio de controle de múltiplas variáveis, transmitindo os dados aos operadores de uma maneira mais simples e direta.

3.9 Mesclando CLP e lógica *fuzzy*

As experiências bem sucedidas com aplicação de lógica *fuzzy* na automação industrial eram tantas, que, em 1990, a companhia alemã *Klockner-Moeller* e a companhia binacional (Estados Unidos/Alemanha) *Inform Software*, criaram o *fuzzyPLC*, tendo por base as diversas observações já realizadas com a implantação da lógica *fuzzy* na integração das mais diversas técnicas de automação.

Para se analisar e fazer uma avaliação de baixo custo, o núcleo do *fuzzyPLC* utiliza uma solução de duplo-chip altamente integrado. Analogamente as interfaces A/D industriais utilizam padrões de 12 bits de resolução. Módulos de E/S podem ser estendidos para largas aplicações de até 100 sinais. Um sistema de integração "*field bus*", com base em RS485, pode ser estendido para redes de alto desempenho. As interfaces de operação estão integradas e implementadas com o sistema de operação com tanta eficiência que tempos de varredura da ordem de 1 ms é totalmente possível. Há possibilidade de extensão de memória interna, dos seus usuais 256 kB de RAM para mais, através da implantação de módulos de expansão. Assim, o *fuzzyPLC* consegue atingir as mais complexas exigências do sistema de controle com o menor custo de projeto.

3.10 Aplicações do *fuzzyCLP*

Conforme já dito, no início da década de 90 as aplicações com lógica *fuzzy* eram diversas e, por isto, surgiu a necessidade da criação do *fuzzyCLP*.

Algumas aplicações deste dispositivo são:

- I) Controle Anti-Vibratório de Guindastes;
- II) Controle da Zona de Calor em Sistemas de Incineração de Resíduos Industriais;
- III) Controle de Dosagem para Sistemas de Tratamento de Água;
- IV) Robótica;
- V) Posicionamento de Prensas;
- VI) Controle de Temperatura em Máquinas de Moldes de Plástico;
- VII) Controle Climático em Automação Predial;
- VIII) Controle de Conversão de Energia Eólica-Elétrica;

4. MODELAGEM PROPOSTA

4.1 Sistemas de Iluminação Natural

Ao longo do tempo, cada vez ficou mais nítida a necessidade do aproveitamento da luz natural para iluminar interiormente os recintos de uma edificação, seja industrial, residencial ou comercial, visando principalmente a economia, cada vez mais importante, da energia elétrica consumida nos sistemas de iluminação de interiores. Face a esta necessidade, desenvolveu-se um estudo para se determinar as variáveis mais importantes a serem consideradas na elaboração de um sistema de automação da iluminação com aproveitamento da luz natural.

A quantidade de luz total necessária para um determinado local depende do movimento aparente do Sol, das condições celestes (meteorologia) e da luz refletida pelas superfícies a serem iluminadas [PORTO, M.M. et alli, 1998].

Nos interiores, somadas às condições anteriores, podemos acrescentar os revestimentos das paredes, teto e piso, as dimensões do recinto e o posicionamento das janelas e seus ângulos de abertura.

Para a determinação da iluminância para sistemas zenitais horizontais, pode ser utilizada a seguinte equação:

$$E = \frac{E_h \cdot A_{zt} \cdot \alpha_u \cdot \beta_m}{A}$$

onde: E = iluminância média no plano de trabalho (lux).

E_h = iluminância num plano horizontal exposto a toda luz diurna (lux).

A_{zt} = área do vão de iluminação (m^2).

α_u = coeficiente de utilização.

β_m = coeficiente de depreciação ou manutenção.

A = área do local (m²).

Para sistemas laterais, a iluminância pode ser dada pela equação:

$$E_p = E_{gv} \cdot A_w \cdot \alpha_u \cdot \beta_m$$

onde: E_p = iluminamento num ponto interno do recinto (lux).

E_{gv} = iluminamento externo global incidente no plano vertical da fachada (lux).

A_w = área bruta da janela (m²).

Levando-se em consideração os efeitos estético e conforto visual, o posicionamento físico das fontes e o posicionamento do plano de trabalho devem ser cuidadosamente planejados, para se evitar problemas de ofuscamento e também de sombras.

A influência da cor aplicada pelos revestimentos à parede, teto e piso do recinto possui valor fundamental no correto dimensionamento dos sistemas de iluminação, Assim como cores claras (branco, azul claro, verde claro) podem melhorar consideravelmente a distribuição do fluxo luminoso no recinto, elas influem psicologicamente na execução de tarefas pelos seus usuários. Cores mais escuras (vermelho escuro, azul escuro, preto) podem não só piorar os efeitos dos sistemas de iluminação, tendo-se que aumentar os fluxos luminosos das fontes artificiais, como também provocam um desconforto aos seus usuários na execução de seu trabalho. A aplicação de cores claras no recinto provocam uma economia de 30% no consumo energético e um aumento de 80 a 90% na produtividade e reduzem sensivelmente os problemas com fadiga ocular e ofuscamento.

4.2 Modelagem adotada

A modelagem utilizada será a simulação de um sistema automatizado de iluminação com *fuzzyCLP*. O sistema constará de sistema de sensoreamento, rede de dados, *fuzzyCLP* e lâmpadas. Os sensores enviarão dados ao *fuzzyCLP* que, por sua vez, analisará estes dados e, utilizando-se de lógica adequada, enviará às lâmpadas valores de controle do fluxo luminoso que, juntamente com a luz natural, farão a correta iluminação do recinto para a tarefa especificada no local.

O estudo será realizado na área de instalação residencial, situada na cidade de Sorocaba, Estado de São Paulo, Brasil, e na área de instalação comercial, na mesma cidade.

Nestas instalações, será aplicado o seguinte método:

- I) aplicação da norma NBR 5413 "Iluminamento médio de interiores - níveis recomendados" para determinação do iluminamento médio de cada recinto [ABNT. NBR 5413, 1990].
- II) aplicar o método dos lúmens, para determinação das luminárias, tipos de lâmpada a ser utilizado no recinto e demais coeficientes necessários [CREDER, H., 1995];
- III) aplicar o método do luxímetro, em pontos estratégicos, para medição *in loco* da iluminância do recinto devida à luz natural. Isto será feito durante todo um dia da semana, das 5:30 às 18:30 h, a cada 30 min, utilizando-se um multímetro digital, conforme o manual do fabricante do mesmo [MINIPA, 1998];
- IV) levantar as regras condicionais de cada recinto e as suas funções de pertinência;
- V) aplicando lógica *fuzzy*, obter os valores do fluxo luminoso e potência utilizada pelas lâmpadas, durante a utilização do recinto, no período especificado;
- VI) comparar o custo da iluminação do recinto antes e depois da implantação do sistema;

4.3 Casos Práticos Analisados

4.3.1 Instalação Residencial

Em face do aproveitamento da luz natural, faz-se necessário localizar corretamente os recintos dentro do imóvel onde será aplicado o estudo, de acordo com as coordenadas da planta de execução. Assim sendo, utilizando-se de projetos de Engenharia Civil, conseguiu-se as medidas e posições abaixo discriminadas, em CAD:

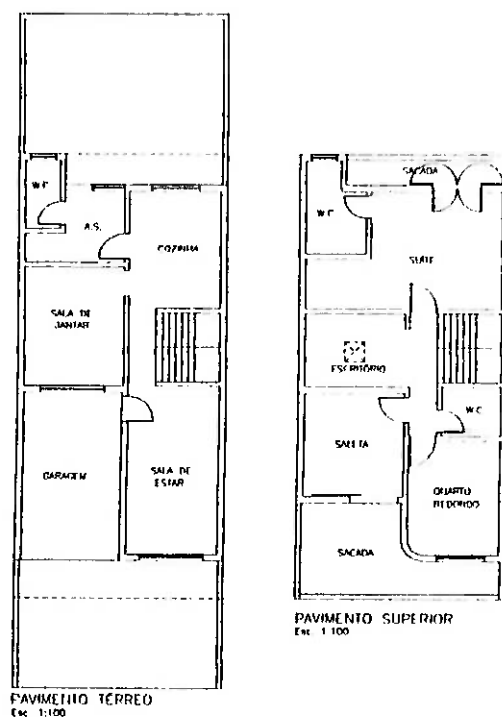


Fig. 4.1 Posicionamento dos recintos na instalação residencial

Utilizando a norma NBR 5413 nos recintos da instalação residencial, os índices recomendados para os valores de iluminação médio são os seguintes:

Recinto	E (lux) - geral	E (lux) - local
Sala de estar	150	500
Cozinhas	150	300
Quartos de dormir	150	300
Hall, escadas, despensas, garagens	100	300
Banheiros	150	300

Tab. 4.1 Iluminamento médio na instalação residencial - níveis recomendados

No caso em estudo, será utilizado o valor do iluminamento médio, iluminação geral.

- Tipo de Luminária e Lâmpada

Em todos os recintos optou-se, mais por questão estética, a utilizar-se luminárias embutidas no teto, tipo "olho-de-moscou", com lâmpadas incandescentes refletoras de 150 W cada, com 1730 lm de fluxo luminoso.

- Dados Geométricos e Cores dos Recintos

As medidas dos recintos e a cor do teto, parede e piso são discriminadas na tabela abaixo:

Recinto	C	L	PD	Teto	Parede	Piso
Sala de estar	5,00	2,88	2,70	branca	clara	escuro
Sala de jantar	3,72	3,00	2,70	branca	clara	escuro
Cozinha	3,66	2,77	2,70	branca	média	escuro

Tab. 4.2 Dados geométricos e cores dos recintos do pavimento térreo

Recinto	C	L	PD	Teto	Parede	Piso
Quarto Redondo	3,20	2,90	2,80	branca	clara	escuro
Saleta	3,30	3,10	2,80	branca	clara	escuro
Suite	4,05	3,68	2,80	branca	clara	escuro

Tab. 4.3 Dados geométricos e cores dos recintos do pavimento superior

onde: C = comprimento do recinto (m)

L = largura do recinto (m)

PD = pé direito do recinto (m)

- Índice de Reflexão de Teto, Parede e Piso

Os índices de reflexão de teto, parede e piso são classificados conforme a tabela abaixo:

Cor	IR (%)
Branca	75 (7)
Clara	50 (5)
Média	30 (3)
Escura	10 (1)

Tab. 4.4 Índice de reflexão - classificação

onde: IR = índice de reflexão, onde os valores entre parênteses representam uma referência para as estimativas percentuais.

Assim, os recintos terão os seguintes índices de reflexão, onde o primeiro algarismo corresponde ao teto, o segundo à parede e o terceiro ao piso:

Recinto	IR
Sala de estar	751
Sala de jantar	751
Cozinha	731
Quarto Redondo	751
Saleta	751
Suíte	751

Tab. 4.5 Índice de reflexão dos recintos

- Determinação do Índice do Local

O índice do local K é dado pela equação:

$$K = \frac{C \cdot L}{h \cdot (C + L)}$$

onde: h = altura útil do recinto (m)

Por sua vez, a altura útil pode ser determinada pela equação:

$$h = PD - (z_1 + z_2)$$

onde: z_1 = altura da base da lâmpada ao teto (m)

z_2 = altura do plano de trabalho (m)

Considerando:

$z_1 = 0$ (luminária embutida no teto)

$z_2 = 0,8$ m (altura média do plano de trabalho)

temos os seguintes valores para o índice do local de cada recinto:

Recinto	K
Sala de estar	0,96179
Sala de jantar	0,87406
Cozinha	0,82984
Quarto Redondo	0,76065
Saleta	0,799219
Suite	0,96403

Tab. 4.6 Índice do local para os recintos

- Determinação do Coeficiente de Utilização de Luminárias

Os valores do coeficiente de utilização μ da luminária é função do índice do local e do índice de reflexão de teto, parede e piso e geralmente são dados pelo fabricante. Abaixo são fornecidos os valores de μ utilizados no estudo:

K	IR = 751	IR = 731
	μ	μ
0,6	0,27	0,24
0,8	0,32	0,29
1,0	0,36	0,33
1,2	0,40	0,36
1,5	0,42	0,39
2,0	0,44	0,42
2,5	0,46	0,44
3,0	0,48	0,46
4,0	0,49	0,48
5,0	0,50	0,49

Tab. 4.7 Coeficientes de utilização para luminária embutida no teto tipo "olho de moscou"

Para se determinar o coeficiente de utilização do recinto, deve-se aplicar interpolação linear entre os valores da tabela, com os valores de K e μ .

Assim, aplicando-se interpolação linear com os valores da tab. 4.7, obtiveram-se os seguintes valores de μ para os recintos:

Recinto	μ
Sala de estar	0,35236
Sala de jantar	0,33481
Cozinha	0,29597
Quarto Redondo	0,31016
Saleta	0,31980
Suite	0,35281

Tab. 4.8 Coeficientes de utilização para os recintos

- Determinação do Coeficiente de Manutenção ou Depreciação

O coeficiente de manutenção ou depreciação d depende do nível de poeira do recinto e do tempo de limpeza que as luminárias sofrerão, se feita a devida manutenção. Em instalações residenciais, este coeficiente pode atingir um valor médio, dado pelo fabricante da luminária.

Assim, adotando-se o valor médio para as luminárias e como são todas praticamente iguais, o valor médio de d para todas será:

$$d = 0,85$$

- Determinação do Número de Luminárias dos Recintos

Pelo método dos lúmens o número de luminárias é definido como sendo a relação entre o fluxo luminoso total do recinto e o fluxo luminoso de cada luminária, isto é:

$$n = \frac{\Phi}{\varphi}$$

Como:

$$\Phi = \frac{E.C.L}{\mu.d}$$

Temos que:

$$n = \frac{E.C.L}{\varphi.\mu.d}$$

O método dos lúmens fornece um valor para n relativamente elevado para iluminação residencial, devido à sua alta precisão. Assim, adota-se um valor prático menor que o calculado, mas que não deteriore as funções essenciais a serem executadas no recinto.

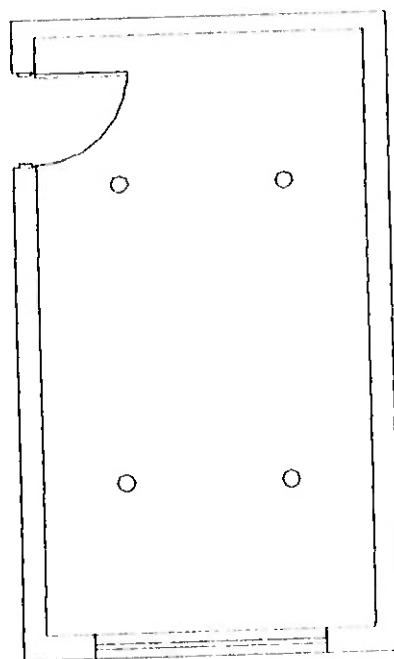
Assim, o valor de n para os recintos é dado na tabela abaixo:

Recinto	n
Sala de estar	4
Sala de jantar	4
Cozinha	4
Quarto Redondo	4
Saletá	4
Suite	4

Tab. 4.9 Número de luminárias dos recintos

- Distribuição das Luminárias Nos Recintos

Visando a melhor eficiência da utilização das luminárias no recinto, objetivando também a exata precisão na execução das atividades no mesmo, a distribuição das luminárias será disposta como segue:



○ LUMINÁRIA INCANDESCENTE

Fig. 4.2 Distribuição das luminárias nos recintos da instalação residencial

4.3.2 Instalação Comercial

Analogamente, aplicando-se a norma NBR 5413, a iluminância necessária à instalação comercial é:

$$E = 500 \text{ lux}$$

As dimensões do recinto, conforme projetos, são:

$$C = 13,55 \text{ m e } L = 11,9 \text{ m}$$

A altura útil do recinto é:

$$h = 1,8 \text{ m} \text{ para: } PD = 3 \text{ m e altura de trabalho} = 1 \text{ m}$$

O índice do local fica, então:

$$K = 3,52$$

Escolhendo luminária fluorescente ou calha chanfrada e considerando índice de reflexão de teto 75% e parede 50%, tem-se o seguinte valor para o coeficiente de utilização:

$$\mu = 0,7408$$

O coeficiente de depreciação é:

$$d = 0,80$$

Portanto, o fluxo luminoso total do recinto é:

$$\Phi = 136039,5856 \text{ lm}$$

Utilizando-se de lâmpada fluorescente de 110 W, ELD, com $\varphi = 7600 \text{ lm}$, o número de lâmpadas é:

$$N = 18$$

Adota-se, portanto, a quantidade de nove luminárias com duas lâmpadas cada, distribuídas conforme fig. abaixo:

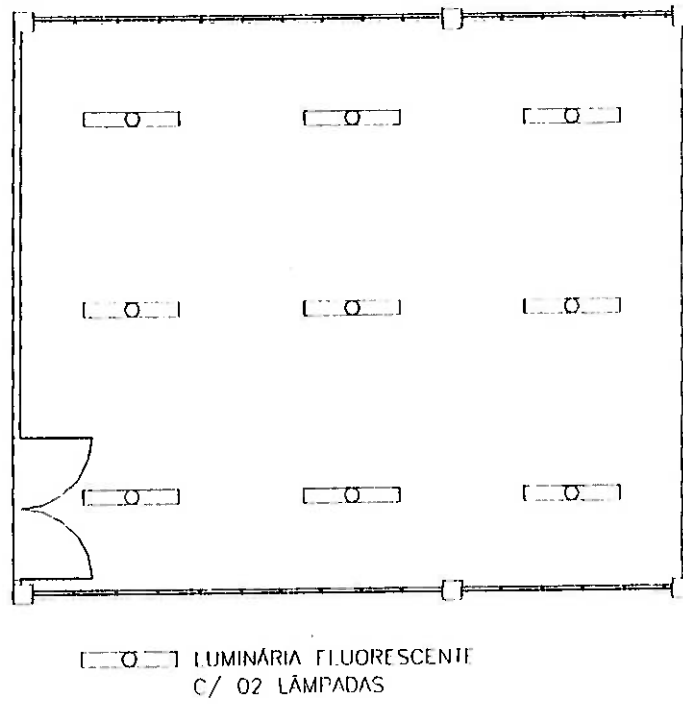


Fig. 4.3 Distribuição das luminárias n instalação comercial

5. MÉTODOS PROPOSTOS PARA CONTROLE DE ILUMINAÇÃO

5.1 Metodologia Proposta

Conforme já citado no cap. 2, é necessário sabermos os níveis de iluminamento médio da luz solar, nos casos práticos analisados. Para isto, faremos a medição do iluminamento médio utilizando um luxímetro digital, conforme o manual do fabricante, nos recintos das instalações residencial e comercial, seguindo um método empírico, denominado "*método do luxímetro*".

O método do luxímetro consiste em medir o iluminamento em diversos pontos do recinto, devido à luz natural. Este método será aplicado para se determinar a influência da luz natural no recinto e qual a sua contribuição para a iluminação interna do mesmo.

Evidentemente, os pontos de medição não podem ser aleatórios. Devem visar a utilização máxima do iluminamento médio no plano de trabalho, devido às fontes naturais e artificiais.

Para tal, os pontos foram considerados a uma altura igual ao plano de trabalho, e cada ponto (com exceção do ponto E ao centro) será controlado por uma luminária. Assim, cada luminária ficará responsável pelo controle de iluminação de uma área equivalente a n^{-1} da área total, onde n é o número total de luminárias do recinto.

5.2 Aplicação do Método do Luxímetro para a Instalação Residencial

Assim, abaixo estão discriminados os pontos para medição do iluminamento médio devido à luz natural, para os recintos:

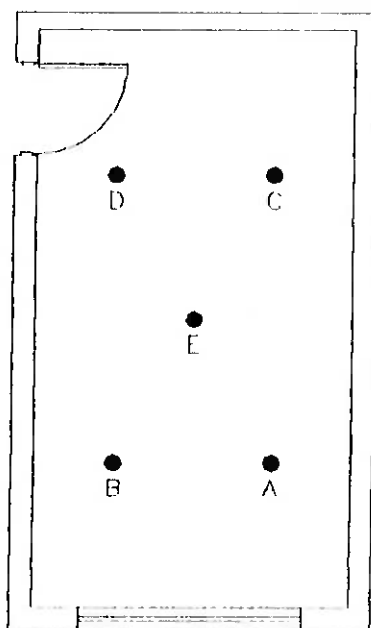


Fig. 5.1 Pontos de medição de E na instalação residencial

- Medições de E Para os Diversos Pontos dos Recintos

Evidentemente, a influência de anteparos de decoração nas janelas (cortinas) tem que ser levado em consideração. Assim, foram feitas medições para 100% de abertura de cortina (completamente aberta). A cortina utilizada para o ensaio é de material completamente opaco, com transparência de 0%.

Aplicando o método do luxímetro para os recintos, obteve-se os seguintes valores médios de E , em lux, para incidência de luz solar, em dia claro:

I) Sala de Estar:

t(h)	Pontos				
	A	B	C	D	E
5:30	0	0	0	0	0
6:00	23	16	17	9	23
6:30	583	36	10920	405	14770
7:00	1300	850	55900	800	1634
7:30	78700	64400	83400	1097	11400
8:00	92000	10000	1620	1020	87800
8:30	2850	87300	1032	738	2100
9:00	1940	1970	680	520	1250
9:30	754	765	350	281	629
10:00	509	493	254	219	420
10:30	453	484	254	197	378
11:00	630	535	323	220	630
11:30	515	500	300	200	480
12:00	600	453	297	211	600
12:30	620	430	280	170	540
13:00	497	400	276	162	350
13:30	451	353	270	169	380
14:00	409	319	246	152	400
14:30	370	292	232	148	310
15:00	349	300	240	140	300
15:30	393	286	220	144	350
16:00	339	279	215	136	370
16:30	330	270	200	120	280
17:00	288	248	165	105	257
17:30	244	219	146	87	217
18:00	168	154	92	64	137
18:30	97	88	53	28	72

Tab. 5.1a Valores médios de E, em função do tempo, nos pontos em estudo

II) Sala de Jantar:

t(h)	Pontos				
	A	B	C	D	E
5:30	0	0	0	0	0
6:00	1	2	4	6	3
6:30	41	60	85	82	94
7:00	110	120	280	140	200
7:30	173	218	212	224	261
8:00	280	300	293	300	331
8:30	254	278	264	285	293
9:00	210	238	212	232	250
9:30	140	162	152	160	164
10:00	110	133	121	146	148
10:30	77	104	106	128	128
11:00	135	168	108	134	167
11:30	89	108	105	109	89
12:00	76	84	93	90	90
12:30	62	72	85	99	117
13:00	69	101	100	112	120
13:30	58	92	87	85	101
14:00	60	86	92	100	88
14:30	72	81	78	92	80
15:00	68	71	85	81	75
15:30	52	65	70	79	69
16:00	48	52	72	70	59
16:30	37	45	61	62	55
17:00	23	34	55	55	46
17:30	12	21	32	39	42
18:00	17	20	24	29	31
18:30	4	9	11	13	14

Tab. 5.1b Valores médios de E, em função do tempo, nos pontos em estudo

III) Cozinha:

t(h)	Pontos				
	A	B	C	D	E
5:30	0	0	0	0	0
6:00	12	19	3	4	7
6:30	54	118	48	31	46
7:00	55	131	32	39	62
7:30	74	140	44	50	69
8:00	74	158	41	48	72
8:30	154	319	80	84	180
9:00	149	310	64	95	168
9:30	133	293	55	90	176
10:00	157	386	116	196	284
10:30	241	615	204	361	411
11:00	304	603	231	315	417
11:30	484	719	251	325	516
12:00	400	751	270	390	545
12:30	510	679	290	236	285
13:00	491	892	285	425	621
13:30	522	963	310	390	735
14:00	635	1061	360	435	842
14:30	741	1535	432	450	978
15:00	852	1820	465	410	1240
15:30	936	3140	521	480	2540
16:00	52400	72300	632	520	68200
16:30	48300	50500	463	470	61200
17:00	340	1050	160	220	580
17:30	216	692	102	161	300
18:00	128	323	51	88	148
18:30	21	80	11	20	31

Tab. 5.1c Valores médios de E, em função do tempo, nos pontos em estudo

IV) Quarto Redondo:

t(h)	Pontos				
	A	B	C	D	E
5:30	0	0	0	0	0
6:00	94	46	126	66	129
6:30	1860	1250	3140	1450	1900
7:00	4230	1540	61200	1710	3650
7:30	88800	1753	26300	1600	40600
8:00	100000	1606	98000	1971	101300
8:30	101500	1523	2090	1600	3610
9:00	83000	1210	1345	1150	1723
9:30	1140	610	800	630	1000
10:00	970	646	780	627	965
10:30	867	575	773	587	895
11:00	1385	744	1012	769	1506
11:30	2070	1230	1300	1110	1770
12:00	800	500	701	590	1000
12:30	752	453	672	610	1230
13:00	810	412	600	550	990
13:30	712	522	720	620	1010
14:00	635	401	670	575	890
14:30	750	390	655	492	802
15:00	660	420	600	520	798
15:30	710	372	590	480	702
16:00	600	400	542	510	850
16:30	847	384	553	459	692
17:00	678	394	520	405	641
17:30	611	308	444	340	553
18:00	471	212	310	230	382
18:30	1139	55	75	54	93

Tab. 5.1d Valores médios de E, em função do tempo, nos pontos em estudo

V) Saleta:

t(h)	Pontos				
	A	B	C	D	E
5:30	0	0	0	0	0
6:00	303	48	238	56	126
6:30	6040	1220	8200	1250	2100
7:00	50900	1770	45700	1753	2970
7:30	14000	1980	5650	1870	3340
8:00	6780	1860	6130	1840	3000
8:30	2740	1190	2120	1220	1900
9:00	2040	700	1630	820	1340
9:30	1933	637	1176	600	1074
10:00	1652	452	1142	483	1004
10:30	1585	450	960	438	883
11:00	1956	430	1186	478	945
11:30	2150	840	1240	560	1240
12:00	1500	400	900	400	800
12:30	1420	392	855	362	751
13:00	1400	402	822	340	703
13:30	1320	386	793	352	622
14:00	1308	371	801	334	600
14:30	1245	403	788	310	615
15:00	1132	356	762	295	592
15:30	1020	322	800	306	575
16:00	900	300	795	275	546
16:30	930	310	780	300	580
17:00	990	290	700	280	560
17:30	859	222	648	227	452
18:00	573	143	403	156	309
18:30	159	36	94	36	72

Tab. 5.1e Valores médios de E, em função do tempo, nos pontos em estudo

VI) Suíte:

t(h)	Pontos				
	A	B	C	D	E
5:30	0	0	0	0	0
6:00	28	91	27	84	82
6:30	91	346	108	253	211
7:00	125	434	128	362	316
7:30	150	517	143	421	280
8:00	160	550	160	420	300
8:30	170	572	170	470	378
9:00	170	559	162	520	366
9:30	159	550	163	478	334
10:00	184	746	186	639	432
10:30	215	800	200	594	459
11:00	262	868	238	632	483
11:30	545	1231	426	1065	861
12:00	550	1522	530	1230	930
12:30	630	1830	574	1340	986
13:00	684	2142	640	1621	1090
13:30	752	2328	710	1830	1330
14:00	804	2624	852	2024	1540
14:30	893	2957	903	2550	1728
15:00	964	3046	962	2825	2032
15:30	1280	3422	1232	3230	2550
16:00	1472	3738	1554	3526	3066
16:30	1553	4024	1722	3480	3620
17:00	1621	4340	1980	3240	4170
17:30	1530	4250	2520	3910	4360
18:00	1382	3220	2930	3140	2340
18:30	575	2270	800	1610	940

Tab. 5.1f Valores médios de E, em função do tempo, nos pontos em estudo

Para o lado externo dos recintos, foram medidos os seguintes valores de E :

t(h)	Sala de estar	Sala de Jantar	Cozinha	Quarto Redondo	Saleta	Suíte
05:30	0	0	0	0	0	0
06:00	118	21	118	813	755	526
06:30	23900	900	703	39600	51700	2110
07:00	6810	2000	1004	73300	82000	2660
07:30	96300	2560	1120	106500	105700	2890
08:00	120000	4650	1168	126900	113600	3380
08:30	131000	4050	1474	125600	13850	3750
09:00	106600	3250	1500	140000	12700	3830
09:30	126500	2620	1640	144200	9940	3840
10:00	6600	2060	2080	9600	6760	4200
10:30	6390	1694	3160	8500	5920	5270
11:00	7200	1530	4800	13700	6880	5690
11:30	6800	1640	6090	16000	7900	8700
12:00	7000	1220	7240	10200	5560	9830
12:30	7300	909	9500	9910	5040	10540
13:00	6000	872	7960	9020	4980	11930
13:30	5730	791	8240	8930	4120	13400
14:00	5040	702	8920	7650	3950	18650
14:30	4530	653	9640	7040	4040	23430
15:00	4110	593	10140	6930	3750	30350
15:30	3930	510	10750	6100	3520	42300
16:00	3520	570	11220	5730	3400	55120
16:30	3420	460	10820	5570	3620	68230
17:00	2980	380	7930	5920	3260	78300
17:30	2420	370	4430	4600	2650	51800
18:00	1626	238	2410	3200	1680	56000
18:30	919	108	641	810	432	31300

Tab. 5.1g Valores médios de E , em função do tempo, lado externo dos recintos

5.3 Método do Luxímetro para a Instalação Comercial

Analogamente, faz-se as medições de E para a instalação comercial, com a condição da não influência de nenhum aparato decorativo.

Os pontos para medição estão assim distribuídos:

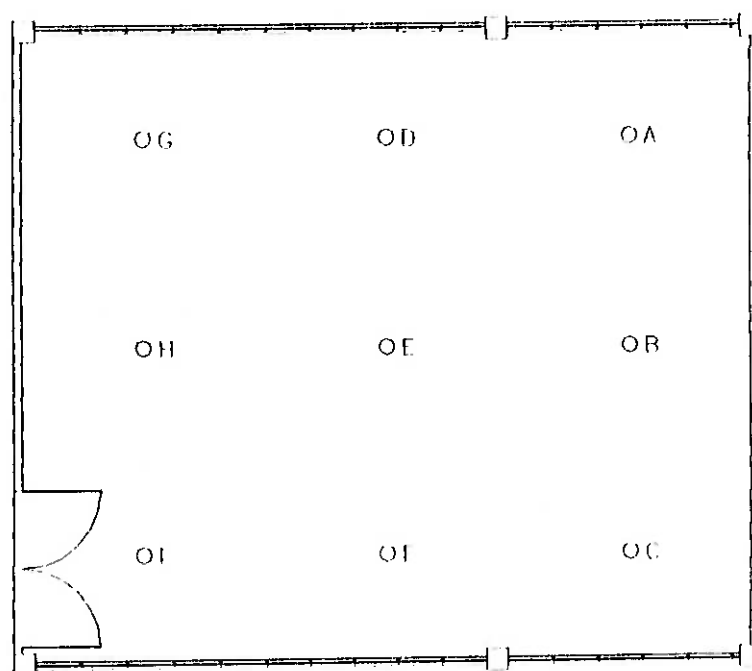


Fig. 5.2 Posicionamento dos pontos para medição da instalação comercial

Assim, obteve-se os seguintes valores da iluminância solar, em lux, para o escritório, em função do tempo:

l) Iluminação interna:

t (h)	Ponto								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
5:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:30	0	0	3	0	0	4	0	0	4
7:00	4	1	15	2	2	15	1	1	14
7:30	13	6	208	10	22	225	9	26	250
8:00	50	34	723	45	82	954	36	54	500
8:30	52	19	401	38	54	402	23	82	423
9:00	233	366	525	479	67	455	124	142	439
9:30	179	120	2850	150	130	3080	120	180	2520
10:00	200	150	3650	180	190	3520	182	222	3010
10:30	220	180	4720	210	250	4680	212	263	3840
11:00	300	200	5630	295	290	5430	286	297	4750
11:30	360	230	6322	345	370	6550	362	310	5520
12:00	280	180	7430	265	301	5220	273	286	4640
12:30	210	172	6123	205	280	4850	246	262	3930
13:00	169	154	5340	160	259	3640	213	245	3650
13:30	144	133	4821	140	231	2850	182	213	2730
14:00	130	118	3320	125	209	2140	163	191	2120
14:30	133	97	2002	114	179	1767	130	169	1512
15:00	110	82	1320	102	158	1540	102	151	1140
15:30	94	66	620	90	159	835	95	132	844
16:00	78	50	572	68	130	672	63	116	706
16:30	37	24	422	41	89	513	38	97	477
17:00	33	15	270	30	61	351	28	74	327
17:30	9	4	77	8	11	112	6	16	88
18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 5.2a Valores de E para a iluminação solar na instalação comercial – parte interna

II) Iluminação externa:

t(h)	Lado direito	Lado esquerdo
05:30	0	0
06:00	0	0
06:30	15	1
07:00	165	17
07:30	999	82
08:00	5140	320
08:30	2650	360
09:00	19200	1670
09:30	21900	1200
10:00	25400	1500
10:30	36700	1800
11:00	48600	2000
11:30	53200	2500
12:00	49700	1800
12:30	36500	1600
13:00	28700	1300
13:30	20200	1100
14:00	16300	935
14:30	10700	900
15:00	8100	880
15:30	5110	860
16:00	4360	560
16:30	3070	320
17:00	2260	190
17:30	684	62
18:00	0	0

Tab. 5.2b Valores de E para a iluminação solar na instalação comercial – parte externa

5.4 Considerações sobre as medições acima efetuadas

Vários fatores influenciaram nas medições do iluminamento médio nos pontos considerados, tanto para a residência como para o escritório.

Os fatores foram:

- a presença de anteparos para a passagem da luz: grades nas janelas, árvores, obras não concluídas nas vizinhanças, toldos;
- a presença de nuvens esparsas, que, por algum momento, atrapalharam a medição;
- a medição destes valores em dia de verão brasileiro, na região onde se localiza o recinto, considerando que, nesta época do ano, a proximidade do Sol com relação à Terra faz com que os raios solares fiquem mais intensos;
- a medição ser feita em diversos dias, e, no final, tirar-se uma média. Neste caso, o espaçamento entre os dias não pode ser muito longo, dentro do três meses da estação, pois a Terra estará alterando sua posição relativa ao Sol;
- a grande paciência que se deve ter quando, por um infortúnio qualquer, a previsão meteorológica falha em seus boletins, e, no dia marcado para executar o método exposto, acontecer uma precipitação pluviométrica.
- a linha de influência da luz solar sobre a edificação: este linha é função do tempo e do ângulo de rotação da Terra com relação ao Sol;

Pelas curvas apresentadas, observa-se que a luz solar possui um valor máximo durante um certo período, denominado *VPL* (valor de pico de luminosidade). Porém, conforme já citado, o *VPL* atinge seu máximo valor entre os meses de dezembro e fevereiro, neste país, período onde se encontra a estação do verão.

6. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA NOS CASOS ANALISADOS

6.1 Processos de Dimerização Adotados

O processo de dimerização adotado para a instalação residencial é a resposta do *fuzzyCLP* em diferença de potencial da lâmpada, sendo que, evidentemente, cada recinto terá seu *fuzzyCLP*, e cada *fuzzyCLP* terá quatro saídas, uma para cada lâmpada.

No caso da instalação comercial, o *fuzzyCLP* agirá num sistema eletrônico de dimerização para lâmpadas fluorescentes, com controle PWM, tendo as seguintes especificações [MAGNETEK, 1999]:

- frequência de controle 5 kHz, com 12 V de "duty cycle" variáveis no sinal de onda quadrada;
- com 0% de "duty cycle" : saída mínima;
- com 88% de "duty cycle": saída máxima.

6.2 Relações Condicionais

- Instalação Residencial

Sejam as seguintes variáveis:

- a) Luz do Dia (LD): determina o nível da luz solar incidente no recinto;
- b) Luz da Lâmpada $I(V_i)$: determina a diferença de potencial de saída do *fuzzyCLP* para a lâmpada específica.

As relações condicionais para a instalação residencial são dadas abaixo, para cada recinto. Considerar:

ca = completamente acesa

ap = apagada

ac = acesa

- Sala de Estar:

Relação 1: se LD = escuro então $V_A = ca$ e $V_B = ca$ e $V_C = ca$ e $V_D = ca$.

Relação 2: se LD = média então $V_A = ap$ e $V_B = ap$ e $V_C = ap$ e $V_D = média$.

Relação 3: se LD = claro então $V_A = ap$ e $V_B = ap$ e $V_C = ap$ e $V_D = ap$.

- Sala de Jantar:

Relação 1: se LD = escuro então $V_A = ca$ e $V_B = ca$ e $V_C = ca$ e $V_D = ca$.

Relação 2: se LD = média então $V_A = média$ e $V_B = média$ e $V_C = média$ e $V_D = média$.

Relação 3: se LD = claro então $V_A = ap$ e $V_B = ap$ e $V_C = ap$ e $V_D = ap$.

- Cozinha:

Relação 1: se LD = escuro então $V_A = ca$ e $V_B = ca$ e $V_C = ca$ e $V_D = ca$.

Relação 2: se LD = média então $V_A = média$ e $V_B = média$ e $V_C = ap$ e $V_D = ap$.

Relação 3: se LD = claro então $V_A = ap$ e $V_B = ap$ e $V_C = ap$ e $V_D = ap$.

- Quarto Redondo:

Relação 1: se LD = escuro então $V_A = ca$ e $V_B = ca$ e $V_C = ca$ e $V_D = ca$.

Relação 2: se LD = média então $V_A = ac$ e $V_B = ac$ e $V_C = ac$ e $V_D = ac$.

Relação 3: se LD = claro então $V_A = \text{ap}$ e $V_B = \text{ap}$ e $V_C = \text{ap}$ e $V_D = \text{ap}$.

- Saleta:

Relação 1: se LD = escuro então $V_A = \text{ca}$ e $V_B = \text{ca}$ e $V_C = \text{ca}$ e $V_D = \text{ca}$.

Relação 2: se LD = média então $V_A = \text{ap}$ e $V_B = \text{média}$ e $V_C = \text{ap}$ e $V_D = \text{ap}$.

Relação 3: se LD = claro então $V_A = \text{ap}$ e $V_B = \text{ap}$ e $V_C = \text{ap}$ e $V_D = \text{ap}$.

- Suite:

Relação 1: se LD = escuro então $V_A = \text{ca}$ e $V_B = \text{ca}$ e $V_C = \text{ca}$ e $V_D = \text{ca}$.

Relação 2: se LD = média então $V_A = \text{média}$ e $V_B = \text{ap}$ e $V_C = \text{média}$ e $V_D = \text{ap}$.

Relação 3: se LD = claro então $V_A = \text{ap}$ e $V_B = \text{ap}$ e $V_C = \text{ap}$ e $V_D = \text{ap}$.

As funções de pertinência para cada variável estão descritas no apêndice A (Funções de Pertinência).

- Instalação Comercial

Sejam as seguintes variáveis:

- Luz Solar Do Lado i : incidência da luz solar no lado i , considerando que o lado direito controla as lâmpadas B, C, E, F, H e I e o lado esquerdo controla as lâmpadas A, D e G;
- Luz da Lâmpada (DC): determina o nível de saída do sistema eletrônico de dimerização.

Para a instalação comercial, as relações funcionais estão descritas abaixo.

Relação 1: se $LD_i = \text{escuro}$ então DC = completamente acesa

Relação 2: se LD_i = quase escuro então DC = acesa

Relação 3: se LD_i = média então DC = média

Relação 4: se LD_i = claro então DC = quase apagada

Relação 5: se LD_i = muito claro então DC = apagada

As funções de pertinência para cada variável estão descritas no apêndice B.

6.3 Simulação do Sistema

- Instalação Residencial

Simulando a atuação das lâmpadas no período em estudo e determinando os valores da *ddp* V (V) e da potência consumida P (W), na situação de cortina totalmente aberta (abertura 100%) e feitas as devidas correções [MOREIRA, V.A., 1987], temos:

l) Sala de Estar:

- Valores de V:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	128,56	128,56	128,56	128,56
6:00	122,38	124,34	124,07	126,23
6:30	0,00	118,53	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:30	0,00	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:30	0,00	0,00	0,00	0,00
13:00	0,00	0,00	0,00	0,00
13:30	0,00	0,00	0,00	0,00
14:00	0,00	0,00	0,00	0,00
14:30	0,00	0,00	0,00	35,82
15:00	0,00	0,00	0,00	57,68
15:30	0,00	0,00	0,00	49,58
16:00	0,00	0,00	0,00	63,72
16:30	0,00	0,00	0,00	79,84
17:00	0,00	0,00	0,00	90,02
17:30	0,00	0,00	43,97	99,45
18:00	0,00	0,00	97,04	109,04
18:30	94,49	98,98	113,00	120,94

Tab. 6.1a Valores de V para as lâmpadas

- Valores de P:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	152,77	152,77	152,77	152,77
6:00	141,61	145,11	144,63	148,53
6:30	0,00	134,81	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:30	0,00	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:30	0,00	0,00	0,00	0,00
13:00	0,00	0,00	0,00	0,00
13:30	0,00	0,00	0,00	0,00
14:00	0,00	0,00	0,00	0,00
14:30	0,00	0,00	0,00	21,35
15:00	0,00	0,00	0,00	44,46
15:30	0,00	0,00	0,00	36,22
16:00	0,00	0,00	0,00	51,83
16:30	0,00	0,00	0,00	73,36
17:00	0,00	0,00	0,00	88,25
17:30	0,00	0,00	29,27	102,88
18:00	0,00	0,00	99,06	118,55
18:30	95,08	102,13	125,24	139,05

Tab. 6.1b Valores de P para as lâmpadas

II) Sala de Jantar:

- Valores de V:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	128,56	128,56	128,56	128,56
6:00	128,31	128,03	127,54	127,28
6:30	116,97	110,52	100,37	101,72
7:00	86,94	79,84	0,00	57,68
7:30	0,00	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00	0,00
9:30	57,68	0,00	0,00	0,00
10:00	86,94	67,48	79,04	43,97
10:30	103,88	90,61	89,42	72,84
11:00	65,03	0,00	88,20	66,28
11:30	98,50	88,2	90,02	87,57
12:00	104,30	100,83	96,55	98,02
12:30	109,79	105,94	100,37	93,42
13:00	107,13	92,32	92,87	85,63
13:30	111,24	97,04	99,45	100,37
14:00	110,52	99,91	97,04	92,87
14:30	106,94	102,16	103,46	97,04
15:00	107,52	106,34	100,37	102,16
15:30	113,34	108,67	106,73	103,03
16:00	114,69	113,34	105,94	106,73
16:30	118,22	115,68	110,16	109,79
17:00	122,38	119,14	112,30	112,30
17:30	125,43	122,95	119,75	117,60
18:00	124,07	123,23	122,10	120,64
18:30	127,54	126,23	125,7	125,16

Tab. 6.2a Valores de V para as lâmpadas

- Valores de P:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	152,77	152,77	152,77	152,77
6:00	152,31	151,84	150,91	150,43
6:30	132,08	121,03	104,35	106,52
7:00	83,64	73,36	0,00	44,46
7:30	0,00	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00	0,00
9:30	44,46	0,00	0,00	0,00
10:00	83,64	56,62	72,23	29,27
10:30	110,02	89,14	87,34	63,69
11:00	53,48	0,00	85,51	55,07
11:30	101,37	85,51	88,25	84,57
12:00	110,71	105,08	98,29	100,61
12:30	119,81	113,40	104,35	93,43
13:00	115,36	91,74	92,58	81,71
13:30	122,25	99,06	102,88	104,35
14:00	121,03	103,61	99,06	92,58
14:30	113,40	107,23	109,34	99,06
15:00	116,01	114,06	104,35	107,23
15:30	125,82	117,93	114,70	108,64
16:00	128,14	125,82	113,40	114,70
16:30	134,26	129,85	120,43	119,81
17:00	141,61	135,87	124,05	124,05
17:30	147,08	142,62	136,95	133,18
18:00	144,63	143,12	141,11	138,52
18:30	150,91	148,53	147,57	146,59

Tab. 6.2b Valores de P para as lâmpadas

III) Cozinha:

- Valores de V:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	128,56	128,56	128,56	128,56
6:00	125,43	123,51	127,80	127,54
6:30	112,65	81,38	114,69	120,05
7:00	112,30	69,74	119,75	117,60
7:30	105,13	57,68	116,01	114,02
8:00	105,13	0,00	116,97	114,69
8:30	0,00	0,00	102,6	100,83
9:00	29,17	0,00	109,04	95,53
9:30	67,48	0,00	112,30	98,02
10:00	0,00	0,00	82,85	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:30	0,00	0,00	0,00	0,00
13:00	0,00	0,00	0,00	0,00
13:30	0,00	0,00	0,00	0,00
14:00	0,00	0,00	0,00	0,00
14:30	0,00	0,00	0,00	0,00
15:00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:30	0,00	0,00	0,00	0,00
16:00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:30	0,00	0,00	0,00	0,00
17:00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:30	0,00	0,00	91,76	0,00
18:00	72,84	0,00	113,68	98,98
18:30	122,95	102,60	125,70	123,23

Tab. 6.3a Valores de V para as lâmpadas

- Valores de P:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	152,77	152,77	152,77	152,77
6:00	147,08	143,63	151,38	150,91
6:30	124,65	75,55	128,14	137,48
7:00	124,05	59,56	136,95	133,18
7:30	112,06	44,46	130,42	126,99
8:00	112,06	0,00	132,08	128,14
8:30	0,00	0,00	107,94	105,08
9:00	15,56	0,00	118,55	96,70
9:30	56,62	0,00	124,05	100,61
10:00	0,00	0,00	77,66	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:30	0,00	0,00	0,00	0,00
13:00	0,00	0,00	0,00	0,00
13:30	0,00	0,00	0,00	0,00
14:00	0,00	0,00	0,00	0,00
14:30	0,00	0,00	0,00	0,00
15:00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:30	0,00	0,00	0,00	0,00
16:00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:30	0,00	0,00	0,00	0,00
17:00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:30	0,00	0,00	90,89	0,00
18:00	63,39	0,00	126,41	102,13
18:30	142,62	107,94	147,57	143,12

Tab. 6.3b Valores de P para as lâmpadas

IV) Quarto Redondo:

- Valores de V:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	128,56	128,56	128,56	128,56
6:00	96,04	115,35	74,74	108,29
6:30	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:30	0,00	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:30	0,00	0,00	0,00	0,00
13:00	0,00	0,00	0,00	0,00
13:30	0,00	0,00	0,00	0,00
14:00	0,00	0,00	0,00	0,00
14:30	0,00	0,00	0,00	0,00
15:00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:30	0,00	0,00	0,00	0,00
16:00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:30	0,00	0,00	0,00	0,00
17:00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:30	0,00	112,30	104,72	112,65

Tab. 6.4a Valores de V para as lâmpadas

- Valores de P:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	152,77	152,77	152,77	152,77
6:00	97,50	129,28	66,26	117,29
6:30	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:30	0,00	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:30	0,00	0,00	0,00	0,00
13:00	0,00	0,00	0,00	0,00
13:30	0,00	0,00	0,00	0,00
14:00	0,00	0,00	0,00	0,00
14:30	0,00	0,00	0,00	0,00
15:00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:30	0,00	0,00	0,00	0,00
16:00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:30	0,00	0,00	0,00	0,00
17:00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:30	0,00	124,05	111,39	124,65

Tab. 6.4b Valores de P para as lâmpadas

V) Saleta:

- Valores de V:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	128,56	128,56	128,56	128,56
6:00	0,00	114,69	0,00	111,95
6:30	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:30	0,00	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:30	0,00	0,00	0,00	0,00
13:00	0,00	0,00	0,00	0,00
13:30	0,00	0,00	0,00	0,00
14:00	0,00	0,00	0,00	0,00
14:30	0,00	0,00	0,00	0,00
15:00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:30	0,00	0,00	0,00	0,00
16:00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:30	0,00	0,00	0,00	0,00
17:00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00
18:00	0,00	51,90	0,00	0,00
18:30	0,00	118,53	96,04	118,53

Tab. 6.5a Valores de V para as lâmpadas

- Valores de P:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	152,77	152,77	152,77	152,77
6:00	0,00	128,14	0,00	123,45
6:30	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:30	0,00	0,00	0,00	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:30	0,00	0,00	0,00	0,00
13:00	0,00	0,00	0,00	0,00
13:30	0,00	0,00	0,00	0,00
14:00	0,00	0,00	0,00	0,00
14:30	0,00	0,00	0,00	0,00
15:00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:30	0,00	0,00	0,00	0,00
16:00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:30	0,00	0,00	0,00	0,00
17:00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00
18:00	0,00	37,79	0,00	0,00
18:30	0,00	134,81	97,50	134,81

Tab. 6.5b Valores de P para as lâmpadas

VI) Suite:

- Valores de V:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	128,56	128,56	128,56	128,56
6:00	120,94	97,54	121,23	100,83
6:30	97,64	0,00	88,2	0,00
7:00	75,65	0,00	72,84	0,00
7:30	0,00	0,00	51,90	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:30	0,00	0,00	0,00	0,00
13:00	0,00	0,00	0,00	0,00
13:30	0,00	0,00	0,00	0,00
14:00	0,00	0,00	0,00	0,00
14:30	0,00	0,00	0,00	0,00
15:00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:30	0,00	0,00	0,00	0,00
16:00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:30	0,00	0,00	0,00	0,00
17:00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 6.6a Valores de V para as lâmpadas

- Valores de P:

t(h)	Pontos			
	A	B	C	D
5:30	152,77	152,77	152,77	152,77
6:00	139,05	99,85	139,56	105,08
6:30	99,85	0,00	85,51	0,00
7:00	67,51	0,00	63,69	0,00
7:30	0,00	0,00	37,79	0,00
8:00	0,00	0,00	0,00	0,00
8:30	0,00	0,00	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:30	0,00	0,00	0,00	0,00
13:00	0,00	0,00	0,00	0,00
13:30	0,00	0,00	0,00	0,00
14:00	0,00	0,00	0,00	0,00
14:30	0,00	0,00	0,00	0,00
15:00	0,00	0,00	0,00	0,00
15:30	0,00	0,00	0,00	0,00
16:00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:30	0,00	0,00	0,00	0,00
17:00	0,00	0,00	0,00	0,00
17:30	0,00	0,00	0,00	0,00
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00
18:30	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 6.6b Valores de P para as lâmpadas

- Instalação Comercial

Analogamente, para a instalação comercial temos os seguintes valores de P,

em W:

t (h)	Ponto								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
5:30	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00
6:00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00
6:30	110,00	110,00	108,93	110,00	110,00	108,71	110,00	110,00	108,71
7:00	108,71	109,37	106,30	109,15	109,15	106,30	109,37	109,37	108,52
7:30	106,73	108,27	63,99	107,40	104,77	60,27	107,61	103,89	54,79
8:00	98,63	102,13	0,00	99,72	91,61	0,00	101,70	97,75	0,00
8:30	98,19	105,42	21,69	101,26	97,75	21,47	104,55	91,61	16,87
9:00	58,51	29,36	0,00	4,59	94,90	9,85	82,41	78,46	13,36
9:30	70,35	83,28	0,00	76,71	81,09	0,00	83,28	70,13	0,00
10:00	65,75	76,71	0,00	70,13	67,94	0,00	69,69	60,93	0,00
10:30	61,36	70,13	0,00	63,56	54,79	0,00	63,12	51,94	0,00
11:00	43,83	65,75	0,00	44,92	46,02	0,00	46,90	44,49	0,00
11:30	30,66	59,17	0,00	33,96	26,46	0,00	30,24	41,64	0,00
12:00	48,21	70,13	0,00	51,50	43,61	0,00	49,75	46,90	0,00
12:30	63,56	71,89	0,00	64,65	48,21	0,00	55,66	52,16	0,00
13:00	72,54	75,83	0,00	74,52	52,61	0,00	62,90	55,88	0,00
13:30	78,02	80,43	0,00	78,90	58,95	0,00	69,69	62,90	0,00
14:00	81,09	83,72	0,00	82,19	63,77	0,00	73,86	67,72	0,00
14:30	80,43	88,33	0,00	84,60	70,35	0,00	81,09	72,54	0,00
15:00	85,48	91,61	0,00	87,23	74,95	0,00	87,23	76,49	0,00
15:30	88,98	95,12	0,00	89,86	74,73	0,00	88,76	80,65	0,00
16:00	92,49	98,63	0,00	94,68	81,09	0,00	95,78	84,16	0,00
16:30	101,48	104,33	17,09	100,60	90,06	0,00	101,26	88,33	5,03
17:00	102,35	106,30	50,40	103,01	96,22	32,65	103,45	93,37	37,91
17:30	107,61	108,71	92,71	107,83	107,18	85,04	108,27	106,08	90,30
18:00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00

Tab. 6.7 Valores de P para a instalação comercial

6.4 Determinação do Consumo Energético

- Instalação Residencial

Considerando que o sistema não foi implantado, considera-se que as lâmpadas foram totalmente solicitadas durante todo o período de estudo.

Assim, o consumo de energia é:

$$E_s = 46,8 \text{ kWh}$$

Onde: E_s = energia consumida sem a implantação do sistema

Com o sistema de controle adotado, considera-se que a lâmpada seja solicitada somente durante um tempo de 30 min, durante o período de estudo (na realidade, este tempo é maior que o real, pois em menos de 30 min o Sol já mudou sua direção e intensidade).

Assim, o consumo de energia é:

$$E_c = 10,45 \text{ kWh}$$

Onde: E_c = energia consumida com a implantação do sistema

Comparando os consumos, temos uma economia de energia de:

$$\Delta E = 77,68\%$$

- Instalação Comercial

Analogamente, a energia consumida sem o sistema implantado é:

$$E_s = 12,38 \text{ kWh}$$

Com o sistema implantado, a energia consumida é:

$$E_c = 7,42 \text{ kWh}$$

Analogamente, comparando os consumos, temos uma economia de energia de:

$$\Delta E = 40\%$$

7. CONCLUSÕES

Conforme o que foi descrito no cap. 1, o processo de controle da iluminação, quando bem projetado, consegue atingir um nível de economia de energia da ordem de 40%.

Analisando os resultados do cap. 6, obtivemos, pelo processo de controle adotado, uma economia de energia, em média, da ordem de 55%.

Considerando os fatos acima citados, podemos considerar como alcançado o objetivo principal, relacionado à economia de energia.

Todavia, isto não nos isenta de analisarmos alguns aspectos que devem ser levados em consideração, a saber:

- devemos considerar, nos projetos de edificações em geral, um melhor aproveitamento da iluminação natural, destacando-se a importância da melhor localização da edificação com relação aos pontos cardeais e, de preferência, em locais amplos e bem abertos;
- nas instalações comerciais, a implantação de sistemas de aproveitamento da iluminação natural nas janelas ("*lightsheif*"), sistema este praticamente difícil de ser implantado nas instalações residenciais, devido à arquitetura flexível da mesma [CHISTOFFERSEN, J. et alli, 1998];
- ainda nas instalações comerciais, a implantação de uma política de melhor aproveitamento da iluminação natural adotando, junto aos usuários do setor, medidas que visem o máximo aproveitamento da luz solar no interior dos ambientes.

O processo de controle de iluminação mostrou-se, pela análise dos resultados obtidos nos casos analisados, eficaz para sua função principal.

Nada foi considerado (ou analisado) com relação ao custo da implantação do sistema de controle.

Algumas sugestões podem ser analisadas para aperfeiçoamento deste estudo, como, por exemplo, a influência dos aparatos decorativos (cortinas) na iluminação solar incidente no recinto, ou o aperfeiçoamento do sistema sensorial.

Esperemos que o estudo tenha contribuído para a ampliação das aplicações da lógica fuzzy e do CLP.

APÊNDICE A

Funções de Pertinência

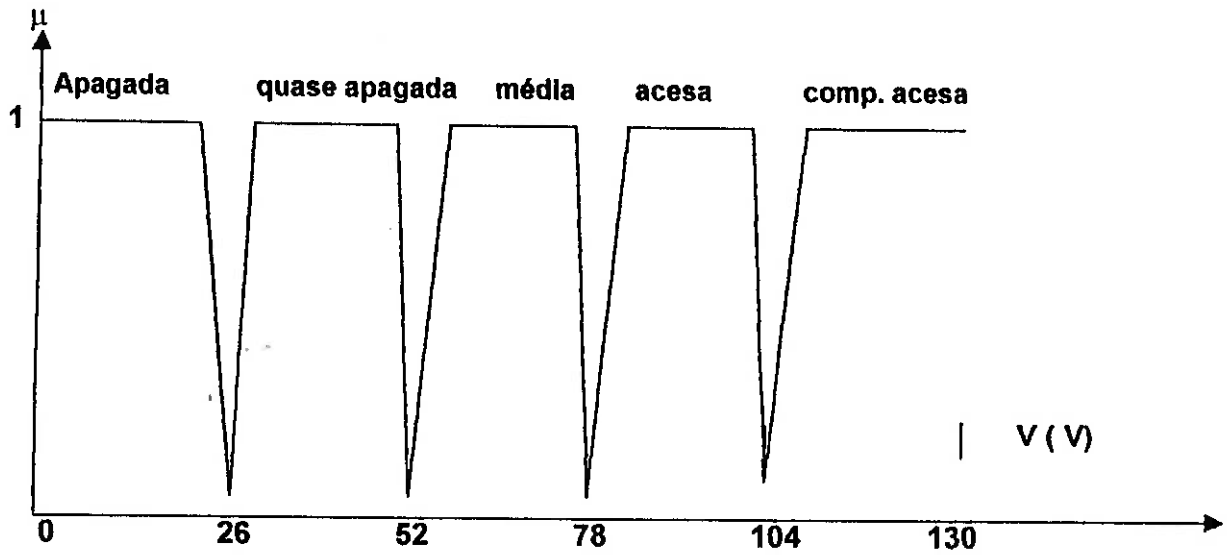


Fig. A1 Função de Pertinência das luminárias incandescentes – Instalação Residencial

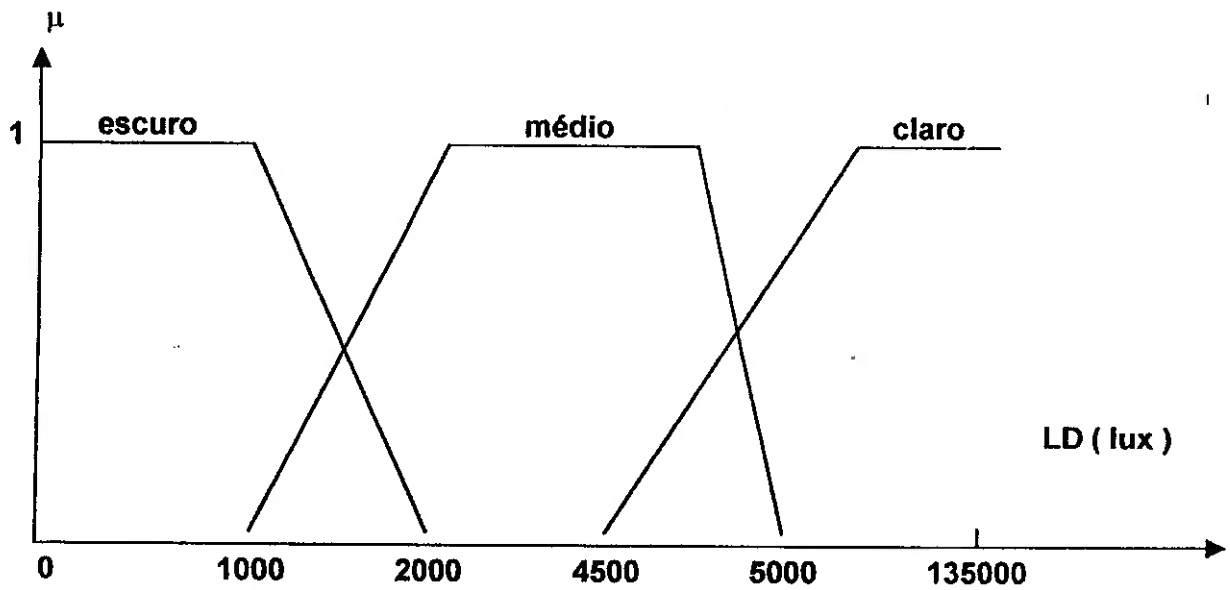


Fig. A2 Função de Pertinência da Luz Solar na Sala de Estar

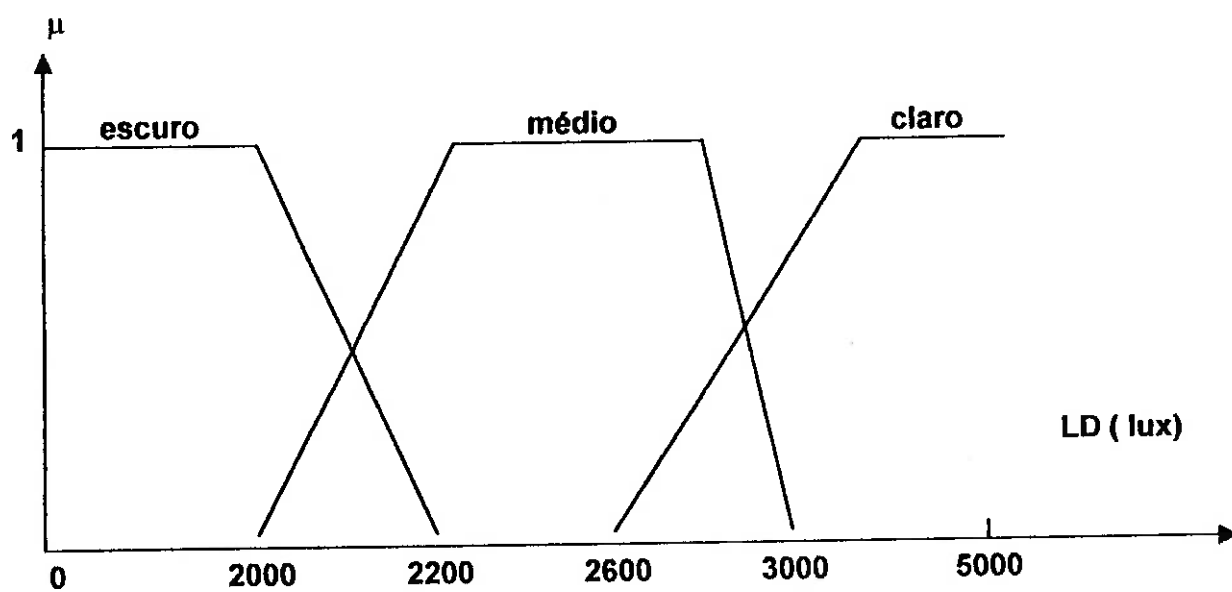


Fig. A3 Função de Pertinência da Luz Solar na Sala de Jantar

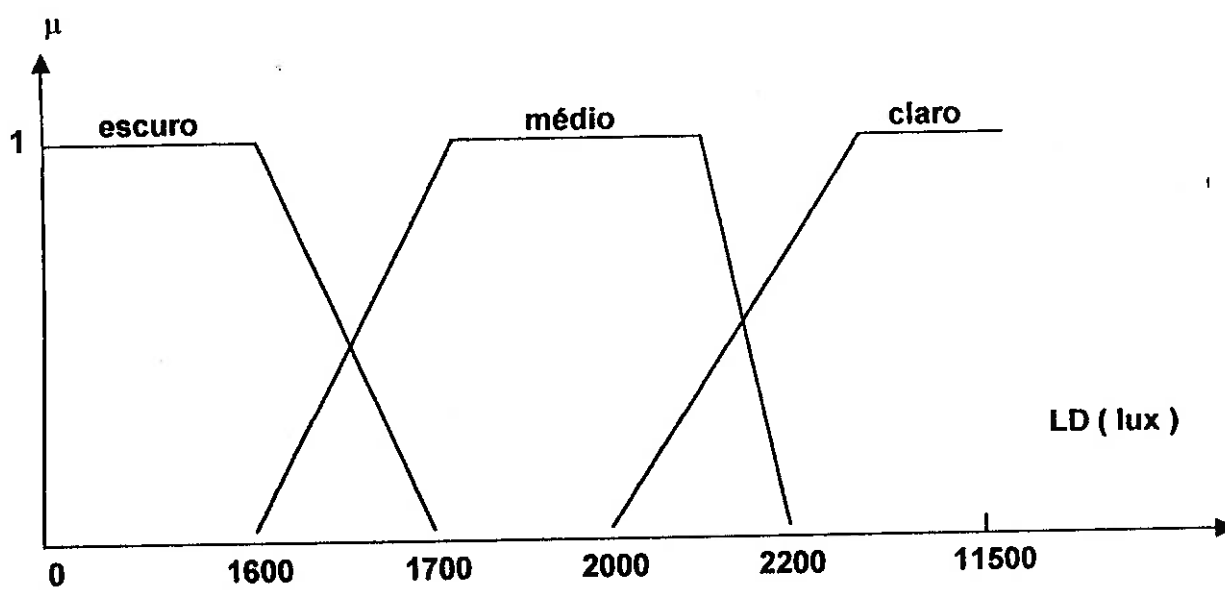


Fig. A4 Função de Pertinência da Luz Solar na Cozinha

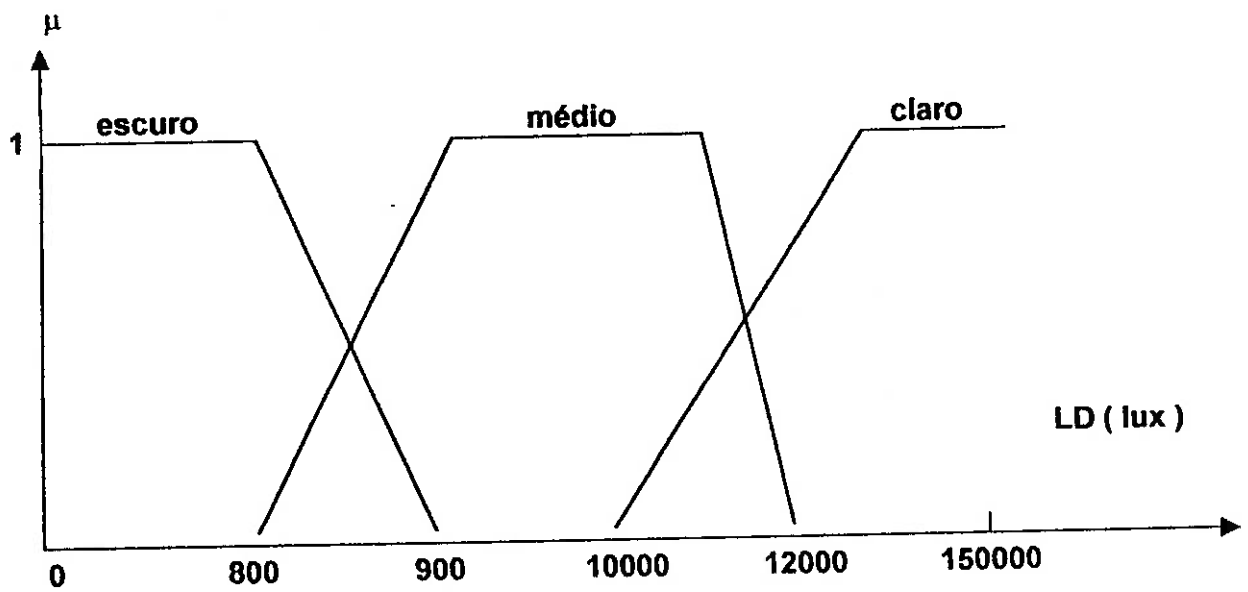


Fig. A5 Função de Pertinência da Luz Solar no Quarto Redondo

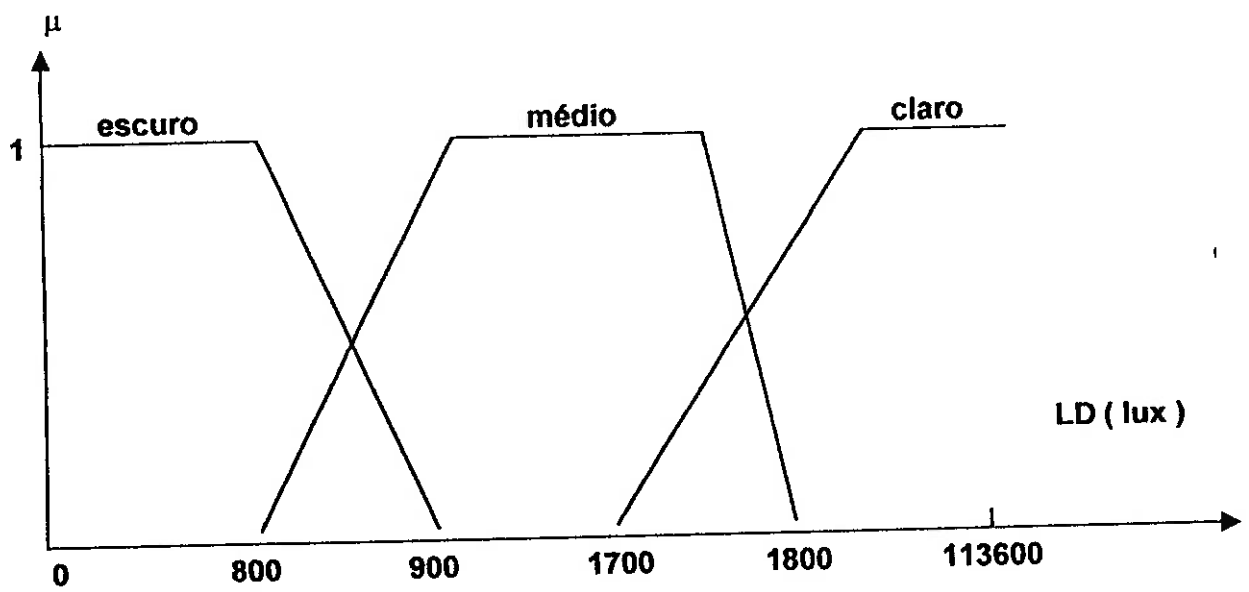


Fig. A6 Função de Pertinência da Luz Solar na Saleta

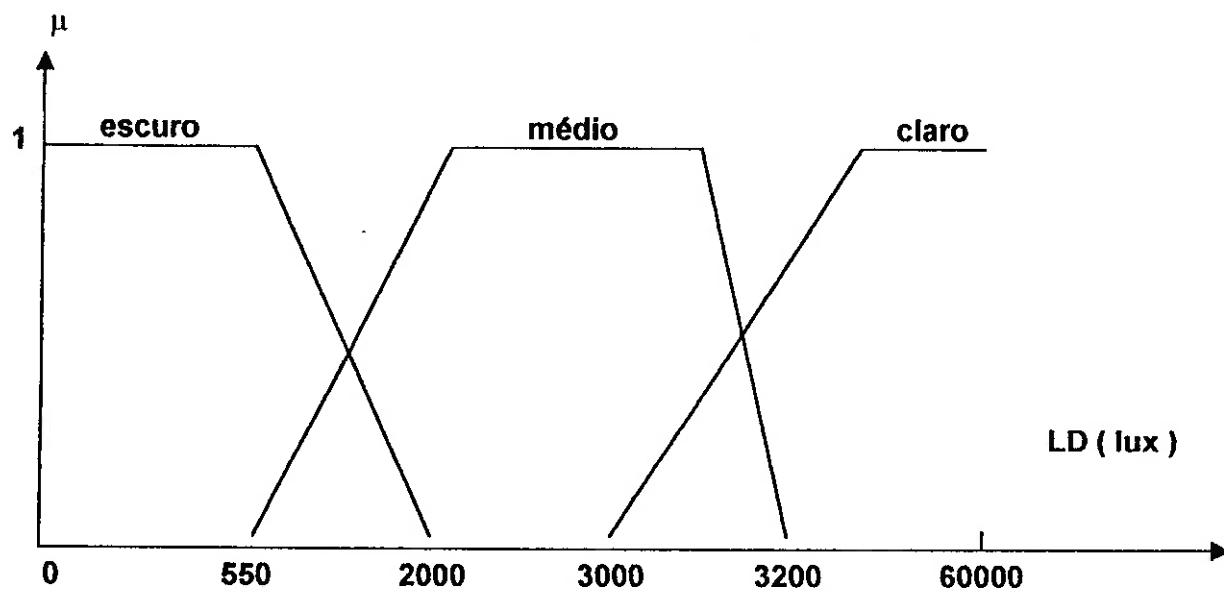


Fig. A7 Função de Pertinência da Luz Solar na Suite

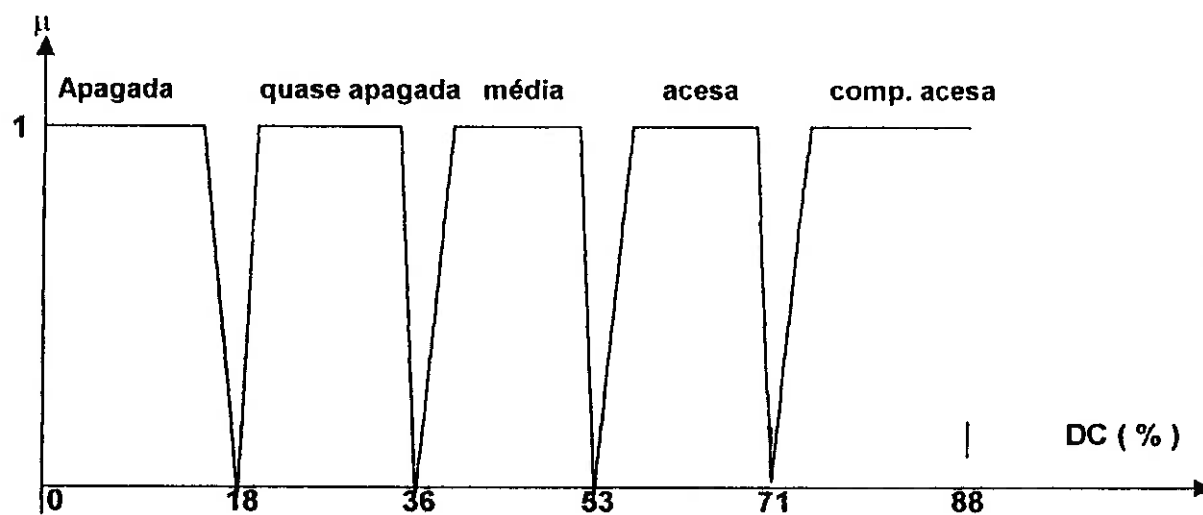


Fig. A8 Função de Pertinência das Luminárias Fluorescentes - Instalação Comercial

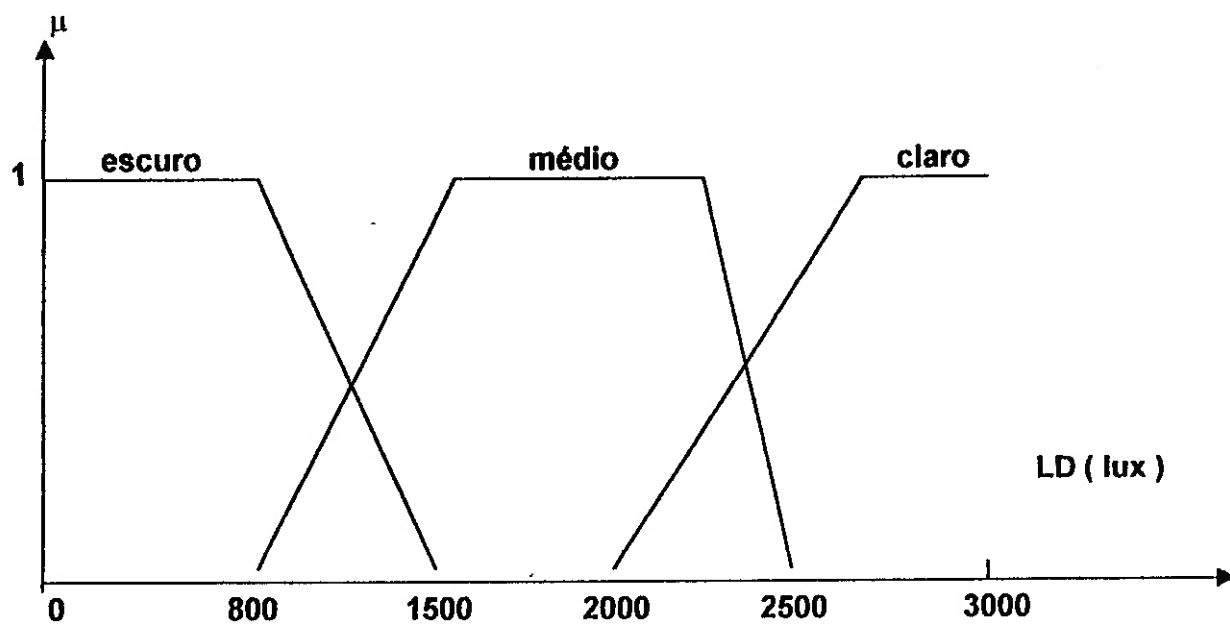


Fig. A9 Função de Pertinência do Lado Esquerdo – Instalação Comercial

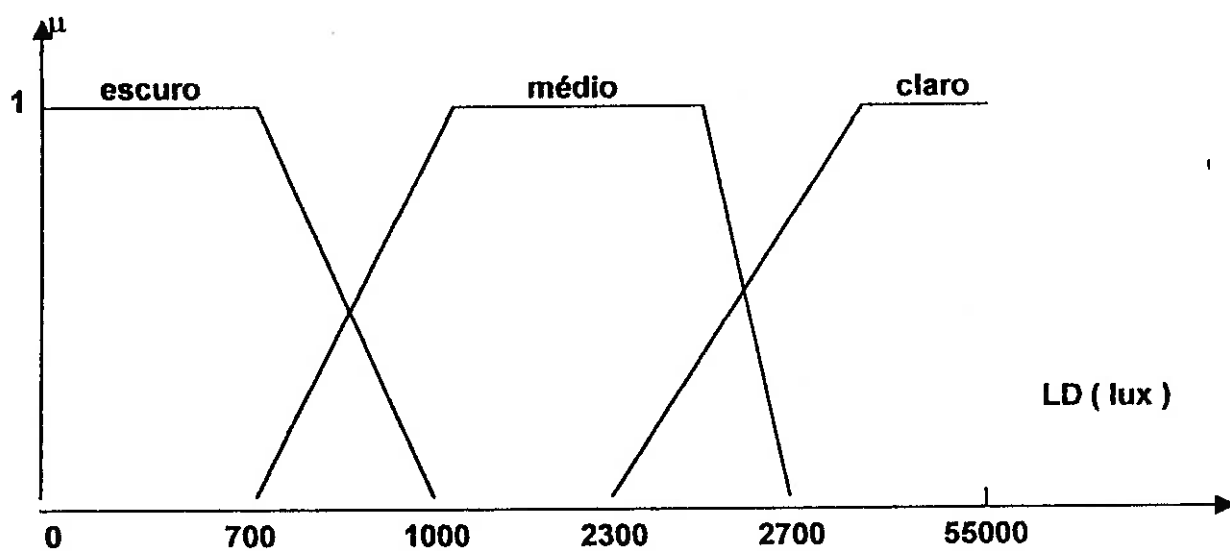


Fig. A10 Função de Pertinência do Lado Direito – Instalação Comercial

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 5413 – **Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Eletricidade, 1990.
- ALLEN-BRADLEY COMPANY. **Micromentor: entendendo e utilizando os microcontroladores programáveis**. São Paulo, 1996.
- von ALTROCK, C., GEBHARDT, J. **Recent successful fuzzy logic applications in industrial automation. Fuzzy Systems, Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on**. Germany, Vol. 3, p. 1845-1851, 1996.
- CALDAS, L., LEONARDI, F. **Controle Fuzzy. Pesquisa & Tecnologia FEI**, São Paulo, no. 18, p. 53-59, jun./1999.
- CHISTOFFERSEN, J., PETERSEN, E., JOHNSES, K. **Avaliação de Sistemas de aproveitamento da luz natural e controles de iluminação. Eletricidade Moderna**, São Paulo, V. 26, no. 294, p. 68-87, set./1998.
- CREDER, H. **Instalações elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 1995.
- DRIANTKOV, D., EKLUND, P.W., RALESCU, A.L. **Fuzzy Logic and Fuzzy Control. Workshops on Fuzzy Logic and Fuzzy Control**. Sydney, Australia: Springer-Verlag, 1991.
- IEC 1131-1/1131-2 INTERNATIONAL STANDARD. **Programmable controllers**. Genevé, Suisse: Commission Electrotechnique Internationale, 1992.
- LÓGICA DIFUSA. Disponível em < http://www.din.uem.br/~ia/control/fuz_prin.htm >
Acesso em 16/06/1999.

- MAGNETEK. **Ballast Dimming Control**. Disponível em <
<http://www.magnetek.com/ballast/ballast/balddimming.html> > Acesso em 21/09/1999.
- MICHELL, G. **Architecture and software of PLC's**. Chichester: John Wiley, 1991.
- MINIPA - Indústria Eletrônica. **Manual de Operação MLM-1332 - Luxímetro Digital**. São Paulo, 1998.
- MOREIRA, V.A. **Iluminação e fotometria**. São Paulo: Edgard Blücher, 1987.
- PORTO, M.M., SILVÉRIO, C.S., SILVA, A.P.F. **A iluminação na análise ergonômica do trabalho no espaço industrial**. *Eletricidade Moderna*, São Paulo, V. 26, no. 294, p. 90-95, set./1998.

- SIMÕES, M.G., SHAW, I.S. **As vantagens da aplicação da lógica fuzzy a sistemas de controle**. *Eletricidade Moderna*, São Paulo, V. 26, no. 287, p. 108-114, fev./1998.
- SMARTER ENERGY. **Business purchasing guide**. Disponível em <
http://www.pge.com/customer_services/business/energy/smart/html/lighting_guide.html >
Acesso em 21/09/1999.