

TESE

958



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



**CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
UTILIZANDO SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO**

Autor: Roberto Akira Yamachita

Orientador: Prof. Dr. Jamil Haddad

Dissertação apresentada à Escola Federal de Engenharia de Itajubá para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Itajubá, Março de 1998.

CLASS. F.F.S. 5	ZAD
CLASSE	YLV
TOMBO	83P

DEDICATÓRIA

Ao Prof. Dr. José Rueda, orientador dedicado e amigo, pela constante incentivo e participação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e funcionários da UFPA, pela colaboração e auxílio.

Aos colegas do Grupo de Estudos Interdisciplinares, pelo convívio e amizade.

Ao aluno de graduação Ricardo Marques, pela ajuda computacional.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

Este trabalho é dedicado aos meus pais,

A todos que de certa forma contribuíram para a realização deste trabalho.

AKISHIDE E YUMIE e

à minha esposa INEZ

CLASS.	628.972.(043-2)
CUTTER.	Y11c
TOMBO.	958

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus pais.

AKISHIDE E YUMIE

é minha esposa (M)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jamil Haddad, orientador dedicado e amigo, pelo constante incentivo e participação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e funcionários da EFEI, pela colaboração e amizade.

Aos colegas do Grupo de Estudos Energéticos, pelo convívio e amizade.

Ao aluno de graduação Ricardo Marques, pela ajuda computacional.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

A todos que de certa forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos

RESUMO

Com o aumento progressivo na demanda de Energia Elétrica no Brasil, tem-se a necessidade de utilização de equipamentos mais eficientes no consumo de energia elétrica.

Este trabalho desenvolve uma análise técnico-econômica dos sistemas de iluminação utilizados em projetos luminotécnicos para ambientes fechados. Esta análise determina os níveis harmônicos de lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico, medidos em laboratório, e apresenta também, resultados obtidos através de um programa da Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL, que incentiva a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas no segmento residencial, visando diminuir a demanda de potência e o consumo de energia elétrica no horário de pico do sistema elétrico.

Apresenta-se ainda, um programa computacional iterativo que estuda a viabilidade econômica na substituição de sistemas de iluminação com baixa eficiência, baseados em critérios técnicos e econômicos como: tipo de ambiente, tipo de lâmpada, utilização diária e custo da energia entre outros.

INDICE

Dedicatória

Agradecimentos

Resumo

Abstract

Índice

Lista de figuras

Lista de tabelas

Símbolos

ABSTRACT

The progressive increase in demand of Electrical Energy in Brazil, imposes the use of more efficient equipments in the consumption of electrical energy.

CAPÍTULO 1 This work develops a technical-economical analysis of the illumination systems used in projects technical illumination to closed environments.

1.1 - Objetivos de grandes e unidades

This analysis determines the harmonic levels of fluorescent lamps with electronic ballast, measured in laboratory, and it also presents.

1.2 - Campo visual

The results obtained through a program of Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL. It motivates the replacement of incandescent lamps by fluorescent electronics in the residencial segment, aiming a reduction in power demand and energy consumption during electrical systems peak time.

1.3 - Outros

It presents too, a interactive computacional program that studies the economical viability in the such of illumination systems with low efficiency, based on technical and economical approaches as: type of environment, type of lamp and daily use, the cost of the energy and so on.

1.3.1 - Fator de utilização

1.3.2 - Fator de manutenção

1.3.3 - Iluminação

1.3.4 - Índice de reprodução de cor

1.3.5 - Eficiência luminosa

1.3.6 - Luminância

ÍNDICE

Dedicatória	i
Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice	v
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xvii
Simbologia	xx
CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - CONCEITOS BÁSICOS	3
2.1 - Introdução	3
2.2 - Definições de grandezas e unidades	3
2.2.1 - Absorção	3
2.2.2 - Área projetada	4
2.2.3 - Campo visual	4
2.2.4 - Comprimento de onda	4
2.2.5 - Controlador de luz	5
2.2.6 - Curva de distribuição luminosa	5
2.2.7 - Depreciação do fluxo luminoso	6
2.2.8 - Difusor	6
2.2.9 - Eficiência Luminosa de uma fonte	6
2.2.10 - Espectro eletromagnético	7
2.2.11 - Fator de manutenção	7
2.2.12 - Fator de utilização	8
2.2.13 - Fluxo luminoso	8
2.2.14 - Iluminância	8
2.2.15 - Índice de reprodução de cor	9
2.2.16 - Intensidade luminosa	9
2.2.17 - Luminância	9

2.2.18 - Luxímetro	10
2.2.19 - Mortalidade de lâmpadas	10
2.2.20 - Ofuscamento	11
2.2.21 - Reator	11
2.2.22 - Starter	12
2.2.23 - Temperatura de cor correlata	12
CAPÍTULO 3 - SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO	
3.1 - Introdução	13
3.2 - Fonte de luz artificial	14
3.3 - Lâmpadas incandescentes	15
3.3.1 - Lâmpadas incandescentes convencionais	16
3.3.2 - Lâmpadas incandescentes econômicas	16
3.4 - Lâmpadas de descarga	16
3.4.1 - Lâmpadas de descarga de baixa pressão	17
3.4.1.1 - Lâmpada fluorescente tubular	17
3.4.1.2 - Lâmpada fluorescente econômica	19
3.4.1.3 - Lâmpada de sódio	20
3.4.2 - Lâmpadas de descarga de alta pressão	21
3.4.2.1 - Lâmpada de mercúrio	21
3.4.2.2 - Lâmpada de luz mista	22
3.4.2.3 - Lâmpada de vapor de sódio	23
3.5 - Equipamentos de controle	24
3.5.1 - Starters	25
3.5.1.1 - Componentes do starter	25
3.5.1.2 - Sequência de operação	25
3.5.1.3 - Starter com religação manual	26
3.5.1.4 - Starter com religação automática	28
3.5.2- Reatores	28
3.5.2.1 - Reatores convencional e eletrônico	29
3.6 - Luminárias	32
3.6.1 - Características das luminárias	33
3.6.2 - Luminárias mais eficientes	35

CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DE CASOS	37
4.1 - Introdução	37
4.2 - Efeito dos harmônicos	37
4.3 - Legislação	38
4.4 - Recomendações	39
4.4.1 - Recomendação IEEE Std 519 - 1992	39
4.4.2 - Recomendação brasileira	40
4.4.3 - Norma Internacional IEC 1.000 - 2.2	41
4.5 - Lâmpadas eletrônicas	41
4.5.1 - Depreciação do fluxo luminoso	42
4.5.2 - Características de operação das lâmpadas	42
4.5.3 - Medições	43
4.6 - Análise das lâmpadas	44
4.6.1 - Descrição do aparelho	44
4.6.2 - Resultados do ensaio em laboratório	45
4.6.3 - Programa de incentivo da CPFL	52
CAPÍTULO 5 - SOFTWARE ILUMINA	56
5.1 - Introdução	56
5.2 - Desenvolvimento teórico	56
5.3 - Análise técnica	56
5.4 - Análise econômica	58
5.4.1 - Método do valor presente líquido	61
5.4.2 - Método da taxa interna de retorno	62
5.4.3 - Método do prazo de amortização	62
5.5 - Levantamento de dados	63
5.6 - Algoritmo e utilização do programa	66
5.6.1 - Algoritmo	66
5.6.2 - Utilização do programa	67
5.7 - Exemplo de cálculo luminotécnico	68
5.8 - Apresentação das telas	75
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO	78

LISTA DE FIGURAS

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	80
Figura 2.1 - Transformação de energia ultravioleta em luz visível	1
Anexo A - Área projetada de uma luminária	84
Anexo B - Campo visual do olho	111
Anexo C - Frente de onda de um feixe	135
Figura 2.5 - Luminária com reflexor	3
Figura 2.6 - Exemplo de curva de distribuição luminosa	3
Figura 2.7 - Efeito de degradação, limpeza e reposição de lâmpadas na iluminação E, de uma instalação de lâmpadas fluorescentes	4
Figura 2.8 - Difusor para luminária com lâmpada fluorescente	5
Figura 2.9 - Fluxo luminoso de uma lâmpada	6
Figura 2.10 - Iluminância de uma fonte de luz	8
Figura 2.11 - Intensidade luminosa de uma fonte de luz	9
Figura 2.12 - Luminância de uma superfície	9
Figura 2.13 - Luxímetro	10
Figura 2.14 - Curva de manutenção em função do ciclo de funcionamento	10
Figura 2.15 - Ofuscamento de uma luminária	11
Figura 2.16 - Regras eletrônicas para lâmpada fluorescente	11
Figura 2.17 - Mecanismo de um starter	12
Figura 3.1 - Componentes da lâmpada incandescente	15
Figura 3.2 - Modo de produção de luz em uma lâmpada fluorescente típica	18
Figura 3.3 - Componentes da lâmpada de sódio de baixa pressão	21
Figura 3.4 - Componentes da lâmpada de mercúrio de alta pressão	21
Figura 3.5 - Componentes de uma lâmpada metálica	22
Figura 3.6 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão	23
Figura 3.7 - Circuito de partida convencional em lâmpada com starter e descarga luminescente	25
Figura 3.8 - Starter não energizada	25
Figura 3.9 - Starter energizado	26
Figura 3.10 - Separação dos pontos	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Transformação de energia ultravioleta em luz visível	3
Figura 2.2 -	Área projetada de uma luminária	4
Figura 2.3 -	Campo visual do olho	4
Figura 2.4 -	Forma de onda de um reator	4
Figura 2.5 -	Luminária com refletor	5
Figura 2.6 -	Exemplo de curva de distribuição luminosa	5
Figura 2.7 -	Efeito da depreciação, limpeza e reposição de lâmpadas na iluminância E, de uma instalação de lâmpadas fluorescentes	6
Figura 2.8 -	Difusor para luminária com lâmpada fluorescente	6
Figura 2.9 -	Fluxo luminoso de uma lâmpada	8
Figura 2.10 -	Iluminância de uma fonte de luz	8
Figura 2.11 -	Intensidade luminosa de uma fonte de luz	9
Figura 2.12 -	Luminância de uma superfície	9
Figura 2.13 -	Luxímetro	10
Figura 2.14 -	Curva de mortalidade em função do ciclo de funcionamento	10
Figura 2.15 -	Ofuscamento de uma luminária	11
Figura 2.16 -	Reator eletrônico para lâmpada fluorescente	11
Figura 2.17 -	Mecanismo de um starter	12
Figura 3.1 -	Componentes da lâmpada incandescente	15
Figura 3.2 -	Modo de produção de luz em uma lâmpada fluorescente típica	18
Figura 3.3 -	Componentes da lâmpada de sódio de baixa pressão	21
Figura 3.4 -	Componentes da lâmpada de mercúrio de alta pressão	21
Figura 3.5 -	Componentes de uma lâmpada mista	22
Figura 3.6 -	Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão	23
Figura 3.7 -	Circuito de partida convencional em lâmpada com starter a descarga luminescente	25
Figura 3.8 -	Starter não energizado	25
Figura 3.9 -	Starter energizado	26
Figura 3.10 -	Separação dos contatos	26

Figura 3.11-	Mecanismo de um starter com religação manual	27
Figura 3.12-	Circuito de partida para starter com religação manual	27
Figura 3.13-	Reator eletrônico de alta frequência	29
Figura 3.14-	Esquema de uma lâmpada fluorescente com starter	30
Figura 3.15-	Esquema de uma lâmpada fluorescente com ignitor eletrônico	31
Figura 3.16-	Diagrama de blocos da lâmpada fluorescente operando com reator eletrônico	31
Figura 3.17-	Classificação de luminárias conforme a CIE	33
Figura 3.18-	Tipos de reflexões.	34
Figura 4.1 -	Curva típica de mortalidade de lâmpadas fluorescentes	42
Figura 4.2 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COM18	46
Figura 4.3 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COM18	46
Figura 4.4 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE18A	47
Figura 4.5 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE18A	47
Figura 4.6 -	Dimensões da sala utilizada para a medição do fluxo luminoso	50
Figura 4.7 -	Altura do plano de medição à lâmpada	50
Figura 4.8 -	Carga residencial de um consumidor ao longo do dia	53
Figura 4.9-	Carga residencial de iluminação um consumidor ao longo do dia	53
Figura 4.10-	Carga residencial total de um consumidor ao longo do dia	53
Figura 4.11-	Carga residencial total medido de um consumidor	54
Figura 4.12-	Demanda média no transformador	54
Figura 4.13-	Fator de potência médio no transformador	55
Figura 5.1 -	Diagrama de fluxos de caixa para um projeto de investimento genérico	61
Figura 5.2 -	Curva de sensibilidade de VPL	73
Figura 5.3 -	Curva de sensibilidade de TIR	74
Figura 5.4 -	Curva de sensibilidade de PA	74
Figura 5.5 -	Entrada de dados dos custos de energia	75
Figura 5.6 -	Entrada de dados do ambiente	76
Figura 5.7 -	Entrada de dados do sistema de iluminação para o caso 1	76
Figura 5.8 -	Entrada de dados do sistema de iluminação para o caso 2	77

Figura A1 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COM18	85
Figura A2 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COM18	85
Figura A3 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE20	86
Figura A4 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE20	86
Figura A5 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE18A	87
Figura A6 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE18A	87
Figura A7 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIM27	88
Figura A8 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIM27	88
Figura A9 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22A	89
Figura A10 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22A	89
Figura A11 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIM22A	90
Figura A12 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIM22A	90
Figura A13 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22B	91
Figura A14 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22B	91
Figura A15 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22C	92
Figura A16 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22C	92
Figura A17 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIM22B	93
Figura A18 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIM22B	93
Figura A19 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE18B	94
Figura A20 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE18B	94
Figura A21 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE27	95
Figura A22 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE27	95
Figura A23 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE23	96
Figura A24 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE23	96
Figura A25 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE15	97
Figura A26 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE15	97
Figura A27 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32A	98
Figura A28 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32A	98
Figura A29 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32B	99
Figura A30 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32B	99
Figura A31 -	Harmônicos de corrente da lâmpada TMSR20	100
Figura A32 -	Harmônicos de corrente da lâmpada TMSR20	100
Figura A33 -	Harmônicos de corrente da lâmpada TMSC20	101

Figura A34 - Harmônicos de tensão da lâmpada TMSC20	101
Figura A35 - Harmônicos de corrente da lâmpada TMDR40	102
Figura A36 - Harmônicos de tensão da lâmpada TMDR40	102
Figura A37 - Harmônicos de corrente da lâmpada TEDR32	103
Figura A38 - Harmônicos de tensão da lâmpada TEDR32	103
Figura A39 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE27 com 2.000 hs de uso	104
Figura A40 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE27 com 2.000 hs de uso	104
Figura A41 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32A com 2.000 hs de uso	105
Figura A42 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32A com 2.000 hs de uso	105
Figura A43 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE23 com 2.000 hs de uso	106
Figura A44 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE23 com 2.000 hs de uso	106
Figura A45 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE15 com 2.000 hs de uso	107
Figura A46 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE15 com 2.000 hs de uso	107
Figura A47 - Análise de uma lâmpada fluorescente circular	108
Figura A48 - Análise de uma lâmpada fluorescente compacta	108
Figura A49 - Lâmpadas fluorescentes tubulares com reator eletrônico	108
Figura A50 - Análise de uma lâmpada fluorescente tubular com reator convencional	109
Figura A51 - Lâmpadas fluorescentes compacta e circular analisadas	109
Figura A52 - Lâmpadas fluorescentes tubulares e reatores analisados	109
Figura A53 - Aparelhos de medição utilizados	110
Figura A54 - Ensaio de vida útil das lâmpadas	110
Figura A55 - Luxímetros para medição do fluxo luminoso	110
Figura B1 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor A	
Figura B1 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor A	112
Figura B2 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor A	112
Figura B3 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor A	112
Figura B4 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor A	113
Figura B5 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor A	113
Figura B6 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor B	113
Figura B7 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor B	114
Figura B8 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor B	114
Figura B9 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor B	114
Figura B10 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor B	115

Figura B11 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor C	115
Figura B12 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor C	115
Figura B13 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor C	116
Figura B14 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor C	116
Figura B15 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor C	116
Figura B16 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor D	117
Figura B17 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor D	117
Figura B18 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor D	117
Figura B19 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor D	118
Figura B20 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor D	118
Figura B21 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor E	118
Figura B22 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor E	119
Figura B23 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor E	119
Figura B24 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor E	119
Figura B25 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor E	120
Figura B26 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor F	120
Figura B27 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor F	120
Figura B28 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor F	121
Figura B29 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor F	121
Figura B30 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor F	121
Figura B31 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor G	122
Figura B32 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor G	122
Figura B33 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor G	122
Figura B34 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor G	123
Figura B35 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor G	123
Figura B36 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor H	123
Figura B37 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor H	124
Figura B38 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor H	124
Figura B39 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor H	124
Figura B40 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor H	125
Figura B41 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor A	126
Figura B42 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor A	126
Figura B43 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor B	127

Lista de figuras

Figura B44 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor B	127
Figura B45 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor C	128
Figura B46 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor C	128
Figura B47 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor D	129
Figura B48 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor D	129
Figura B49 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor E	130
Figura B50 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor E	130
Figura B51 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor F	131
Figura B52 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor F	131
Figura B53 - Demanda média total do transformador - Dias úteis	132
Figura B54 - Demanda média total do transformador - Dias não úteis	132
Figura B55 - Potência reativa média total do transformador - Dias úteis	133
Figura B56 - Potência reativa média total do transformador - Dias não úteis	133
Figura B57 - Fator de potência médio do transformador - Dias úteis	134
Figura B58 - Fator de potência médio do transformador - Dias não úteis	134
Figura C1 - Diagrama de fluxos de caixa para um projeto de investimento genérico.	
Figura C1 - Diagrama de fluxos de caixa para um projeto de investimento genérico.	138
Figura C2 - Dados de entrada do ambiente	140
Figura C3 - Dados da lâmpada para o caso 1	141
Figura C4 - Dados do custo de energia	141
Figura C5 - Dados da lâmpada para o caso 2	141
Figura C6 - Demanda de energia de um consumidor, dias úteis	144
Figura C7 - Demanda de energia de um consumidor, dias não úteis	144
Figura C8 - Demanda de energia no transformador, dias úteis	144
Figura C9 - Demanda de energia no transformador, dias não úteis	144
Figura C10 - Potência Reativa no transformador, dias úteis	145
Figura C11 - Potência Reativa no transformador, dias não úteis	145
Figura C12 - Fator de Potência no transformador, dias úteis	145
Figura C13 - Fator de Potência no transformador, dias não úteis	145
Figura C14 - Forma de onda da tensão de L4.	146
Figura C15 - Forma de onda da corrente de L4.	146
Figura C16 - Forma de onda da corrente de L7.	146
Figura C17 - Diagrama de fluxos de caixa para um projeto de investimento genérico.	148

Figura C18 - Entrada de dados físicos do ambiente	150
Figura C19 - Escolha da lâmpada e luminária	151
Figura C20 - Entrada de dados econômicos	151
Figura C21 - Escolha da lâmpada e luminária para comparação dos casos em estudo	151
Figura C22 - Harmônicos de corrente no transformador	153
Figura C23 - Forma de onda da tensão de uma lâmpada fluorescente circular de 22 W com reator magnético	154
Figura C24 - Forma de onda da corrente de uma lâmpada fluorescente circular de 22 W com reator magnético	154
Figura C25 - Harmônicos de uma lâmpada fluorescente circular de 22 W com reator magnético	154
Figura C26 - Forma de onda da corrente de uma lâmpada fluorescente circular de 22 W com reator eletrônico	154
Figura C27 - Harmônicos de uma lâmpada fluorescente circular de 22 W com reator eletrônico.	154
Figura C28 - Forma de onda da corrente de uma lâmpada fluorescente compacta de 23 W com reator eletrônico	154
Figura C29 - Harmônicos de uma lâmpada fluorescente compacta de 23 W com reator eletrônico	154
Figura C30 - Forma de onda da corrente de uma lâmpada fluorescente compacta de 15 W com reator eletrônico	155
Figura C31 - Harmônicos de uma lâmpada fluorescente compacta de 15 W com reator eletrônico	155
Figura C32 - Forma de onda da corrente de uma lâmpada circular de 32 W com reator eletrônico de baixo fator de potência	155
Figura C33 - Harmônicos de uma lâmpada circular de 32 W com reator eletrônico de baixo fator de potência	155
Figura C34 - Forma de onda da corrente de uma lâmpada fluorescente circular de 32 W com reator eletrônico de alto fator de potência	155
Figura C35 - Harmônicos de uma lâmpada fluorescente circular de 32 W com reator eletrônico de alto fator de potência	155
Figura C36 - Curva de carga em iluminação de um consumidor utilizando lâmpadas incandescentes	156

Figura C37 - Curva de carga em iluminação de um consumidor utilizando lâmpadas fluorescentes eletrônicas	156
Figura C38 - Curva de carga residencial total medido com lâmpadas incandescentes	156
Figura C39 - Curva de carga residencial total medido com lâmpadas eletrônicas	156
Tabela 3.1 - Fótons e cores fluorescentes	17
Tabela 3.2 - Valores médios típicos para lâmpadas fluorescentes ligadas em 127 V	20
Tabela 3.3 - Potência média de perdas em reatores para lâmpadas fluorescentes	31
Tabela 3.4 - Perdas médias em reatores para lâmpadas vapor de sódio e mercúrio	31
Tabela 3.5 - Classificação de luminárias para iluminação geral de acordo com o fluxo luminoso	31
Tabela 3.6 - Estudo comparativo de luminárias	36
Tabela 4.1 - Limite de distorção de tensão	39
Tabela 4.2 - Limite de distorção de corrente para sistema de 120 V até 69 kV	39
Tabela 4.3 - Limite de distorção de corrente para sistema de 72,6 V até 161 kV	40
Tabela 4.4 - Limites globais de tensão em porcentagem da tensão fundamental	40
Tabela 4.5 - Limites de tensão por consumidor em porcentagem da tensão fundamental	40
Tabela 4.6 - Níveis de tensão harmônica existente em redes de baixa tensão	41
Tabela 4.7 - Vida média de lâmpadas fluorescentes por ciclos de funcionamento	43
Tabela 4.8 - Harmônicos de corrente da lâmpada COM18	46
Tabela 4.9 - Harmônicos de tensão da lâmpada COM18	46
Tabela 4.10 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE18A	47
Tabela 4.11 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE18A	47
Tabela 4.12 - Níveis de distorção harmônica individual e total de tensão	48
Tabela 4.13 - Grandezas elétricas das lâmpadas estudadas	48
Tabela 4.14 - Eficiência das lâmpadas estudadas	50
Tabela 4.15 - Durabilidade das lâmpadas após 1.000 horas de utilização	51
Tabela 5.1 - Características das lâmpadas	64
Tabela 5.2 - Fatores de manutenção e utilização de luminárias	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -	Faixa de comprimento de onda para o espectro visível	7
Tabela 2.2 -	Fator de manutenção	7
Tabela 3.1 -	Fósforos e cores fluorescentes	17
Tabela 3.2 -	Valores médios típicos para lâmpadas fluorescentes ligadas em 127 V	20
Tabela 3.3 -	Potência média de perdas em reatores para lâmpadas fluorescentes	31
Tabela 3.4 -	Perdas média em reatores para lâmpadas vapor de sódio e mercúrio	31
Tabela 3.5 -	Classificação de luminárias para iluminação geral de acordo com o fluxo luminoso	31
Tabela 3.6 -	Estudo comparativo de luminárias.	36
Tabela 4.1 -	Limite da distorção da tensão	39
Tabela 4.2 -	Limite de distorção de corrente para sistema de 120 V até 69 kV	39
Tabela 4.3 -	Limite de distorção de corrente para sistema de 69 kV até 161 kV	40
Tabela 4.4 -	Limites globais de tensão em porcentagem da tensão fundamental	40
Tabela 4.5 -	Limites de tensão por consumidor em porcentagem da tensão fundamental	40
Tabela 4.6 -	Níveis de tensão harmônica individual em redes de baixa tensão	41
Tabela 4.7 -	Vida média de lâmpadas fluorescentes por ciclos de funcionamento.	43
Tabela 4.8 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COM18	46
Tabela 4.9 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COM18	46
Tabela 4.10 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE18A	47
Tabela 4.11 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE18A	47
Tabela 4.12 -	Níveis de distorção harmônico individual e total de tensão	48
Tabela 4.13 -	Grandezas elétricas das lâmpadas ensaiadas	49
Tabela 4.14 -	Iluminância das lâmpadas ensaiadas	50
Tabela 4.15 -	Iluminância das lâmpadas após 2.000 horas de utilização	51
Tabela 5.1 -	Características das lâmpadas	64
Tabela 5.2 -	Fatores de manutenção e utilização de luminárias	65

Tabela 5.3 -	Iluminância em lux para cada grupo de tarefa visual	66
Tabela 5.4 -	Índices econômicos para os diversos valores de UDL	73
Tabela A1 - Harmônicos de corrente da lâmpada COM18		
Tabela A1 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COM18	85
Tabela A2 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COM18	85
Tabela A3 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE20	86
Tabela A4 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE20	86
Tabela A5 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE18A	87
Tabela A6 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE18A	87
Tabela A7 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIM27	88
Tabela A8 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIM27	88
Tabela A9 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22A	89
Tabela A10 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22A	89
Tabela A11 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIM22A	90
Tabela A12 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIM22A	90
Tabela A13 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22B	91
Tabela A14 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22B	91
Tabela A15 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22C	92
Tabela A16 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22C	92
Tabela A17 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIM22B	93
Tabela A18 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIM22B	93
Tabela A19 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE18B	94
Tabela A20 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE18B	94
Tabela A21 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE27	95
Tabela A22 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE27	95
Tabela A23 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE23	96
Tabela A24 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE23	96
Tabela A25 -	Harmônicos de corrente da lâmpada COE15	97
Tabela A26 -	Harmônicos de tensão da lâmpada COE15	97
Tabela A27 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32A	98
Tabela A28 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32A	98
Tabela A29 -	Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32B	99
Tabela A30 -	Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32B	99

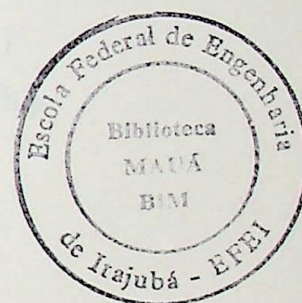
Lista de tabelas

Tabela A31-	Harmônicos de corrente da lâmpada TMSR20	100
Tabela A32-	Harmônicos de tensão da lâmpada TMSR20	100
Tabela A33-	Harmônicos de corrente da lâmpada TMSC20	101
Tabela A34-	Harmônicos de tensão da lâmpada TMSC20	101
Tabela A35-	Harmônicos de corrente da lâmpada TMDR40	102
Tabela A36-	Harmônicos de tensão da lâmpada TMDR40	102
Tabela A37-	Harmônicos de corrente da lâmpada TEDR32	103
Tabela A38-	Harmônicos de tensão da lâmpada TEDR32	103
Tabela A39-	Harmônicos de corrente da lâmpada COE27 com 2.000 hs de acendimento	104
Tabela A40-	Harmônicos de tensão da lâmpada COE27 com 2.000 hs de acendimento	104
Tabela A41-	Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32A com 2.000 hs de acendimento	105
Tabela A42-	Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32A com 2.000 hs de acendimento	105
Tabela A43-	Harmônicos de corrente da lâmpada COE23 com 2.000 hs de acendimento	106
Tabela A44-	Harmônicos de tensão da lâmpada COE23 com 2.000 hs de acendimento	106
Tabela A45-	Harmônicos de corrente da lâmpada COE15 com 2.000 hs de acendimento	107
Tabela A46-	Harmônicos de tensão da lâmpada COE15 com 2.000 hs de acendimento	107
Tabela C1 -	Distorção harmônico total de corrente	146
Tabela C2 -	Distorção harmônico total de tensão	146
Tabela C3 -	Limite da distorção da tensão	153
Tabela C4 -	Limite da distorção de corrente para sistema até 69 kV	153
Tabela C5 -	Limite de distorção de corrente em sistemas de 69 kV até 161 kV	153
Tabela C6 -	Limites globais de tensão em porcentagem da tensão fundamental	153
Tabela C7 -	Limite de tensão por consumidor em porcentagem da fundamental	153

SIMBOLOGIA

Caracteres latinos

- A - Área do ambiente [m^2]
b - Fator de luminância [-]
c - Comprimento do local [m]
CDL - Curva de Distribuição Luminosa [cd / 1000 lm]
CE - Custo anual de energia [R\$]
CE1 - Custo anual de energia para consumidor industrial [R\$]
CL - Custo total das lâmpadas [R\$]
CLM - Custo total de luminárias [R\$]
CMO - Custo total de mão de obra [R\$]
COT - Custo operacional total anual [R\$]
CR - Custo total de reatores [R\$]
CRL - Custo anual de reposição de lâmpadas [R\$]
DM - Número de dias do mês em funcionamento [dias]
E - Iluminância [lux]
EL - Eficiência luminosa [lm / W]
f - Frequência [Hz]
FD_i - Fator de distorção harmônico total da onda de corrente [%]
FD_{ih} - Fator de distorção harmônico individual da onda de corrente [%]
FD_u - Fator de distorção harmônico total da onda de tensão [%]
FD_{uh} - Fator de distorção harmônico individual da onda de tensão [%]
FP - Fator de potência [-]
F_m - Fator de manutenção da luminária [-]
F_u - Fator de utilização da luminária [-]
H - Altura do plano de trabalho até a luminária [m]
h - Ordem do harmônico [-]
I₁ - Valor eficaz da corrente na componente fundamental [A]
I_h - Valor eficaz do harmônico de corrente de ordem h [A]



- I_L - Demanda máxima de corrente da carga para o ponto de acoplamento comum [A]
- I_{sc} - Corrente de curto-circuito do ponto de acoplamento entre o consumidor e a concessionária [A]
- IL - Intensidade luminosa [cd]
- i - Taxa mínima de atratividade anual [% a.a]
- IR - Taxa interna de retorno anual [% a.a]
- I_a, I_b, I_c - Correntes nas fases a, b, c [A]
- k - Índice do ambiente [-]
- kwhfps - Preço do kW no horário fora de ponta e no período seco [R\$ / kW]
- kwhfpu - Preço do kW no horário fora de ponta e no período úmido [R\$ / kW]
- kwh - Preço do kWh [R\$ / kWh]
- kwhfps - Preço do kWh no horário fora de ponta e no período seco [R\$ / kWh]
- kwhfpu - Preço do kWh no horário fora de ponta e no período úmido [R\$ / kWh]
- kwhps - Preço do kWh no horário de ponta e no período seco [R\$ / kWh]
- kwhpu - Preço do kWh no horário de ponta e no período úmido [R\$ / kWh]
- kwps - Preço do kW no horário de ponta e no período seco [R\$ / kW]
- kwpu - Preço do kW no horário de ponta e no período úmido [R\$ / kW]
- l - Largura do local [m]
- L - Luminância [cd / m²]
- Mobra - Custo da mão de obra para instalação de uma luminária [R\$]
- n - Número de lâmpadas por luminária [-]
- nm - Máxima ordem do harmônico simulado/medido [-]
- np - Número de períodos pesquisado [anos]
- NR1 - Número de reator simples por luminária [-]
- NR2 - Número de reator duplo por luminária [-]
- P - Valor presente líquido [R\$]
- PA - Prazo de amortização [meses]
- Pativa - Potência ativa [W]
- Paparente - Potência aparente [VA]
- Preativa - Potência reativa [VAr]
- PotLam - Potência da lâmpada [W]
- PotReat1 - Potência do reator simples [W]

PotReat2 - Potência do reator duplo [W]
PreLam - Preço da lâmpada escolhida [R\$]
PreLum - Preço da luminária escolhida [R\$]
PreReat1 - Preço do reator simples [R\$]
PreReat2 - Preço do reator duplo [R\$]
Pt - Potência total da instalação [W]
q - Coeficiente de luminância [-]
Q - Quantidade de luminárias [-]
TI - Total de investimentos [R\$]
Tu - Tempo de utilização da instalação [anos]
U₁ - Valor eficaz da tensão na frequência fundamental (fase-terra) [V]
U_h - Valor eficaz do harmônico de tensão de ordem h (fase-terra) [V]
U_{an}, U_{bn}, U_{cn} - Tensões nas fases a e neutro, b e neutro, c e neutro [V]
UD - Utilização diária das lâmpadas [h]
UDfp - Utilização diária das lâmpadas no horário fora de ponta [h]
UDp - Utilização diária das lâmpadas no horário de ponta [h]
Urede - Tensão da rede de energia elétrica [V]
v - Velocidade de propagação [m / s]
VML - Vida média da lâmpada [h]
x_j - Série de recebimentos e desembolsos [-]

Caracteres gregos

β - Fator de luminância [-]
 ϕ - Fluxo luminoso [lm]
 ϕ_t - Fluxo luminoso total [lm]
 θ_i - Fluxo luminoso de uma lâmpada [lm]
 η - Rendimento da luminária [-]
 λ - Comprimento de onda [m / s]
 ρ - Coeficiente de reflexão [-]

Abreviações

CIE - Comissão Internacional de L'Eclairage

CIExx - Lâmpada fluorescente circular de potência xx, com reator eletrônico.

CIMxx - Lâmpada fluorescente circular de potência xx, com reator eletromagnético.

COExx - Lâmpada fluorescente compacta de potência xx, com reator eletrônico.

COMxx - Lâmpada fluorescente compacta de potência xx, com reator eletromagnético.

HO - (High Output) - Modelo de lâmpada fluorescente tubular

IRC - Índice de Reprodução de Cor

TCC - Temperatura de Cor Correlata

TEDRxx - Lâmpada fluorescente tubular de potência xx com reator eletrônico duplo de partida rápida

TMDRxx - Lâmpada fluorescente tubular de potência xx com reator eletromagnético duplo de partida rápida

TMSCxx - Lâmpada fluorescente tubular de potência xx com reator eletromagnético simples de partida convencional

TMSRxx - Lâmpada fluorescente tubular de potência xx com reator eletromagnético simples de partida rápida

CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico, surgiram no mercado sistemas de iluminação mais eficientes, de dimensões menores e com vida útil maior.

A iluminação é responsável por cerca de 17% do consumo total de energia elétrica do país [1], sendo que no setor residencial é composta basicamente por lâmpadas incandescentes que possuem baixa eficiência luminosa lúmen por Watt. Segundo a Philips iluminação, há cerca de 40% de energia desperdiçada com a utilização incorreta dos sistemas de iluminação [2]. Com isso torna-se necessária a aplicação da pesquisa e dos estudos de luminotécnica, na execução de projetos racionais para instalações de iluminação.

Este trabalho faz uma análise sobre a viabilidade na substituição destes sistemas de iluminação ineficientes, e também um estudo de lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos, baseados em alguns critérios de conservação e qualidade da energia elétrica.

No Capítulo 2 faz-se uma breve revisão nos conceitos básicos em luminotécnica para que se possa desenvolver a análise dos sistemas de iluminação.

No Capítulo 3 estuda-se alguns dos sistemas de iluminação existentes no mercado no que se refere a lâmpadas, reatores e luminárias.

No Capítulo 4 apresenta-se um estudo referente aos níveis de harmônicos produzidos por lâmpadas fluorescentes compactas e circulares, com reator eletromagnético ou eletrônico de baixo e alto fator de potência, através de medições realizadas em laboratório. Tem-se ainda, os resultados do programa de incentivo da Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL para substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes, em algumas cidades do interior do Estado de São Paulo.

No Capítulo 5 apresenta-se um programa computacional que realiza um estudo luminotécnico em sistemas de iluminação utilizando o método dos lúmens, para determinar a viabilidade econômica na substituição de sistemas de iluminação direta e semi-direta com baixa eficiência luminosa em ambientes fechados. São apresentados ainda um exemplo prático de um projeto de iluminação com os resultados obtidos através desta simulação.

No Capítulo 6 apresentam-se algumas conclusões relacionadas a este estudo procurando relacionar alguns comentários que possam contribuir para realização de trabalhos futuros.

Capítulo 1 - Apresentação

Além dos capítulos mencionados, foram incluídos três anexos neste trabalho. O primeiro, anexo A, apresenta os resultados obtidos através de medições em laboratório relacionadas às lâmpadas citadas no Capítulo 4. O anexo B apresenta os resultados de um programa da CPFL, que incentiva a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas e circulares com reator eletrônico, no segmento residencial. Finalmente, no anexo C, tem-se os artigos resultantes desta dissertação. No total, tem-se quatro artigos assim distribuídos: um artigo apresentado em Belém - PA, no **Décimo Quarto Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**, em outubro de 1997, dois artigos apresentados em Campos do Jordão - SP, no **Terceiro Congresso Latino-americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica**, em novembro de 1997 e um apresentado em São Lourenço - MG, no **Segundo Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica**, em novembro de 1997.

CAPÍTULO 2 - CONCEITOS BÁSICOS

2.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo faz-se uma seleção de termos e definições relacionadas com a iluminação. Procura-se descrever os principais conceitos utilizados em luminotécnica.

2.2 - DEFINIÇÕES DE GRANDEZAS E UNIDADES

As definições apresentadas a seguir, estão com as unidades mais empregadas no estudo e nos cálculos dos projetos de iluminação.

2.2.1 - Absorção: Transformação de energia radiante numa forma diferente de energia por interação com a matéria, por exemplo: transformação de energia ultravioleta em luz visível através da camada de fósforo em lâmpadas fluorescentes.

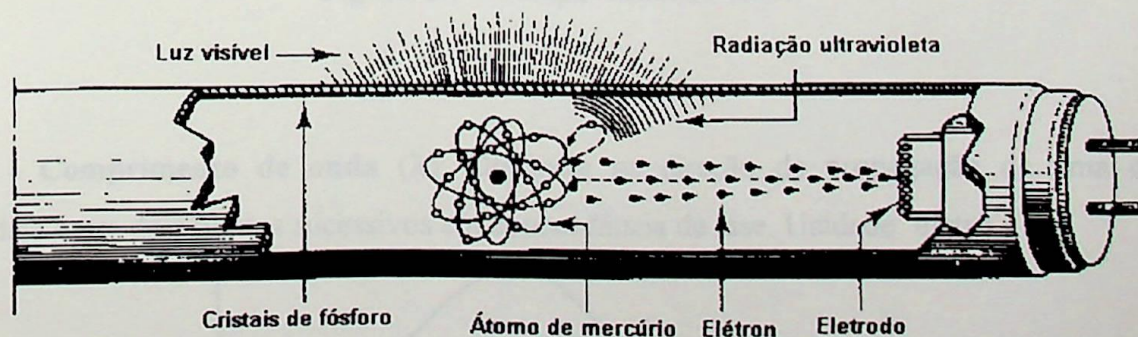


Figura 2.1 - Transformação de energia ultravioleta em luz visível. - Fonte: [3]

2.2.2 - Área projetada: De uma luminária numa dada direção, é a área de projeção ortogonal da superfície luminosa, num plano perpendicular à direção específica. Unidade - m^2

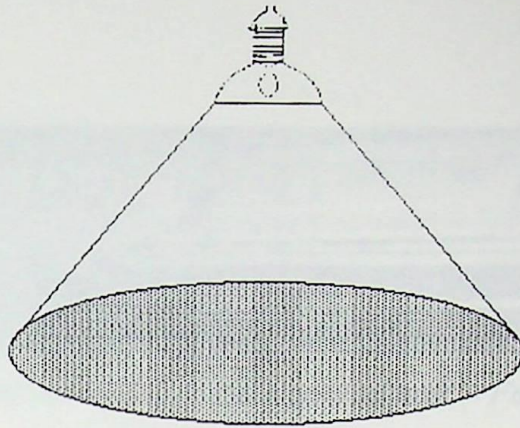


Figura 2.2 - Área projetada de uma luminária.

2.2.3 - Campo visual: Do olho, é a extensão angular do espaço no qual um objeto pode ser percebido, é dado por: 50° para cima, 60° para baixo e 80° horizontalmente para cada lado.

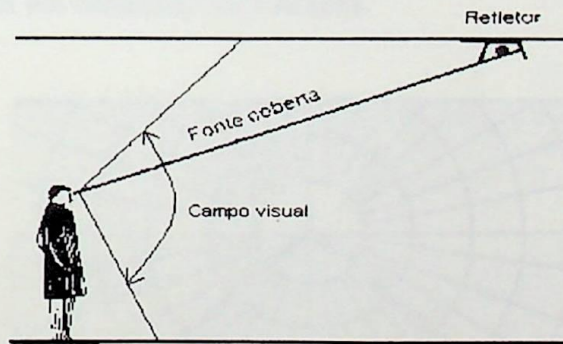


Figura 2.3 - Campo visual do olho.

2.2.4 - Comprimento de onda (λ): Distância na direção de propagação de uma onda periódica entre dois pontos sucessivos em concordância de fase. Unidade: metro - m.

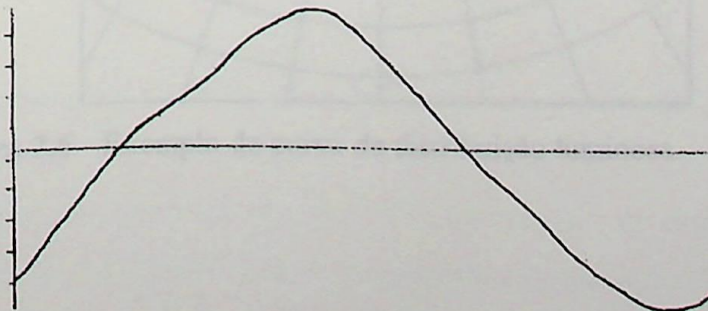


Figura 2.4 - Forma de onda de um reator.

2.2.5 - Controlador de luz: É a parte da luminária projetada para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso das lâmpadas; podendo ser do tipo refletor, refrator, difusor, lente e colméia.

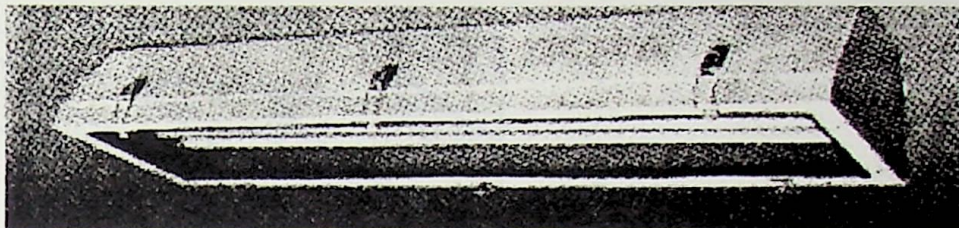


Figura 2.5 - Luminária com refletor. - Fonte: [4]

2.2.6 - Curva de Distribuição Luminosa (CDL): De uma lâmpada, é a curva que representa, em coordenadas polares, as intensidades luminosas nos planos transversal e longitudinal e normalmente é fornecida em candelas/1000 lúmens.

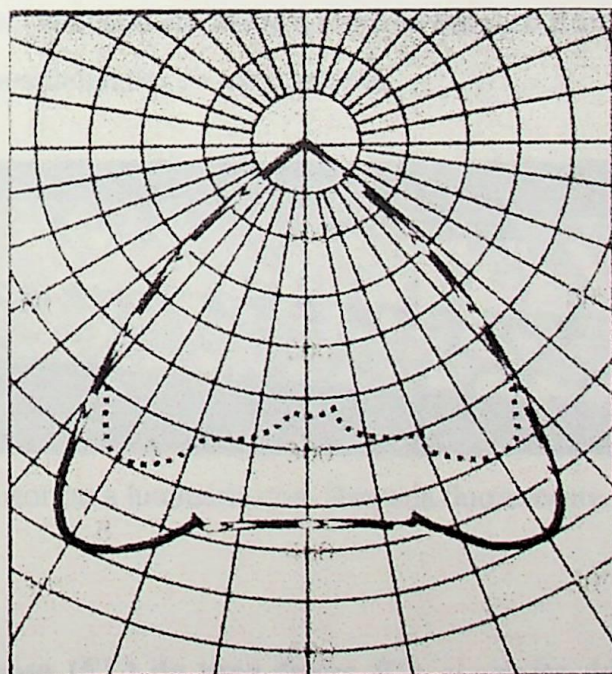


Figura 2.6 - Exemplo de curva de distribuição luminosa. - Fonte: [5]

2.2.7 - Depreciação do fluxo luminoso: Diminuição progressiva da iluminância do sistema de iluminação, devido ao acúmulo de poeira nas lâmpadas e luminárias e ao decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas.

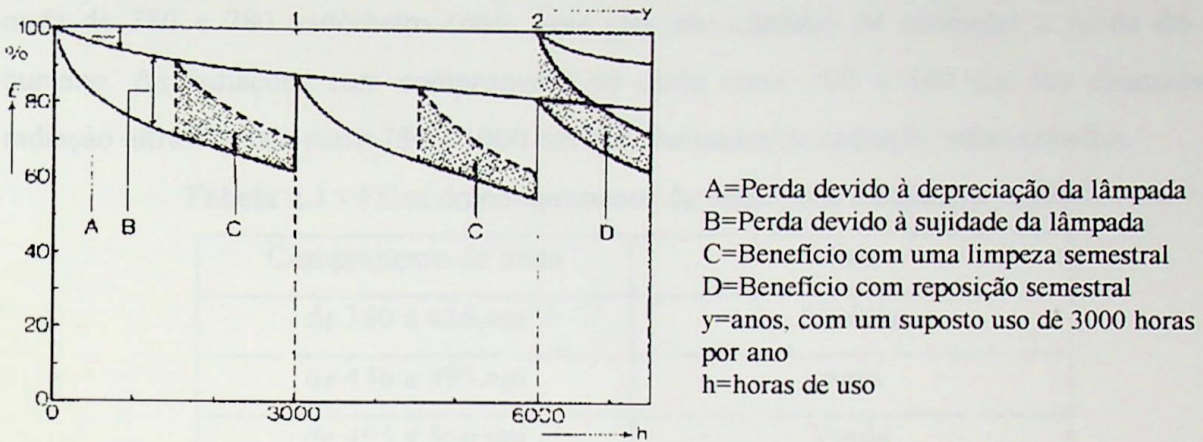


Figura 2.7 - Efeito da depreciação, limpeza e reposição de lâmpadas na iluminância E, de uma instalação de lâmpadas fluorescentes. - Fonte: [6]

2.2.8 - Difusor: Dispositivo colocado em frente à fonte de luz com a finalidade de diminuir sua luminância, reduzindo as possibilidades de ofuscamento.

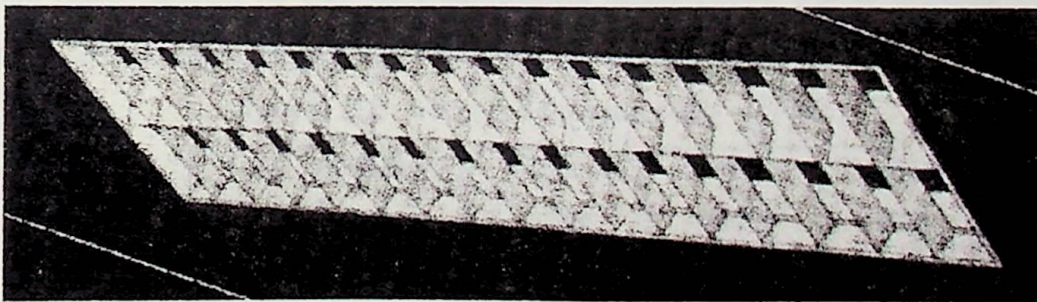


Figura 2.8 - Difusor para luminária com lâmpada fluorescente. - Fonte: [7]

2.2.9 - Eficiência Luminosa (EL) de uma fonte: É o quociente do fluxo luminoso total emitido por uma fonte de luz, em lúmens e a potência por ela consumida em Watts. Por exemplo, para uma lâmpada incandescente de 100 W que produz um fluxo luminoso de 1470 lúmens, possui uma EL de 14,7 lm/W; por outro lado, uma lâmpada fluorescente compacta de 23 W que produz um fluxo luminoso de 1500 lúmens possui uma EL de 65,2 lm/W.

2.2.10 - Espectro eletromagnético: Contém uma série de radiações, que são fenômenos vibratórios, cuja velocidade (v) de propagação é constante e que diferem entre si por sua frequência (f) e por seu comprimento de onda (λ), tal que $v = \lambda f$. Para o estudo da iluminação, é especialmente importante o grupo de radiações compreendidas entre os comprimentos de onda de 380 e 780 nanômetro (nm), pois elas são capazes de estimular a retina do olho humano. As radiações com comprimento de onda entre 100 e 380 nm são chamadas de radiação ultravioleta e entre 780 e 1000 nm são chamadas de radiação infravermelho.

Tabela 2.1 - Faixa do comprimento de onda para o espectro visível.

Comprimento de onda	Cor
de 380 a 436 nm	Violeta
de 436 a 495 nm	Azul
de 495 a 566 nm	Verde
de 566 a 589 nm	Amarelo
de 589 a 627 nm	Laranja
de 627 a 780 nm	Vermelho

2.2.11 - Fator de manutenção (Fm): É a razão da iluminância média no plano de trabalho após um certo período de uso, pela iluminância média obtida sob as mesmas condições da instalação nova, os valores estão apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Fatores de manutenção. - Fonte [8]

Período de uso sem limpeza (meses)	Ambiente limpo	Ambiente médio	Ambiente sujo
0	1,00	1,00	1,00
2	0,97	0,92	0,85
4	0,95	0,87	0,76
6	0,93	0,85	0,70
8	0,92	0,82	0,66
10	0,91	0,80	0,63
12	0,90	0,78	0,61
14	0,89	0,77	0,59
16	0,88	0,76	0,57
18	0,87	0,75	0,56
20	0,86	0,74	0,54

2.2.12 - Fator de utilização (Fu): É a razão do fluxo utilizado pelo fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. É um índice da luminária e influi no rendimento desta. Por exemplo, uma luminária para lâmpada fluorescente com fator de utilização de 0,82, com uma lâmpada que produz um fluxo luminoso de 3100 lúmens, fornecerá um fluxo utilizado de 2542 lúmens.

2.2.13 - Fluxo luminoso (ϕ): Quantidade de luz produzida pela lâmpada, emitida pela radiação, de acordo com a sua ação sobre um receptor seletivo, cuja sensibilidade espectral é definida pelas eficiências espectrais padrão. Unidade: lúmen - lm.

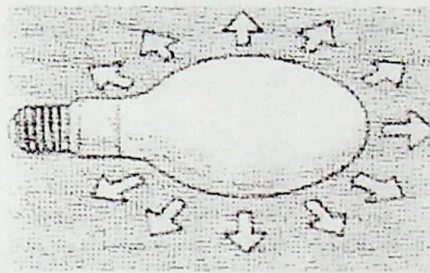


Figura 2.9 - Fluxo luminoso de uma lâmpada.

2.2.14 - Iluminância (E): Densidade de fluxo luminoso incidente em uma superfície, é o quociente do fluxo luminoso pela área da superfície. Unidade: lux

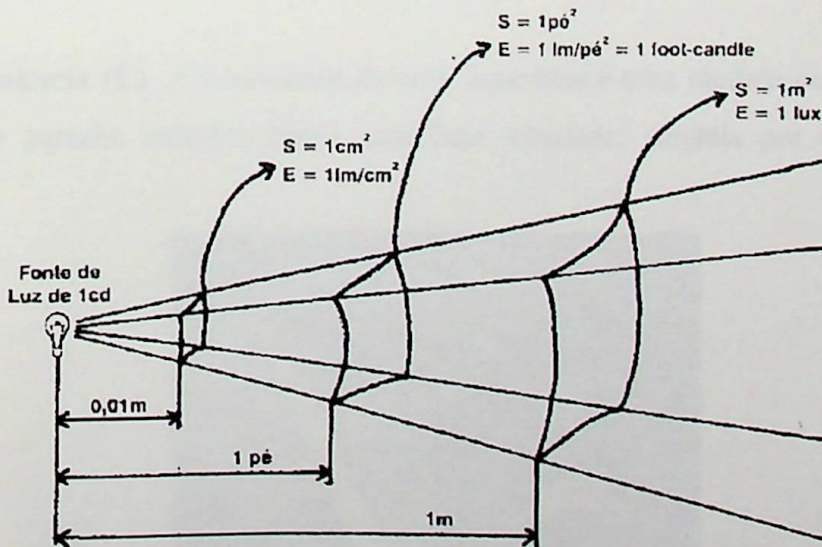


Figura 2.10 - Iluminância de uma fonte de luz - Fonte: [9]

2.2.15 - Índice de Reprodução de Cor (IRC): O IRC no sistema internacional de medidas é um número de 0 a 100 que classifica a qualidade relativa de reprodução de cor de uma fonte, quando comparada com uma fonte padrão de referência da mesma temperatura de cor. O IRC identifica a aparência como as cores dos objetos e pessoas serão percebidos quando iluminados pela fonte de luz em questão. Quanto maior, o IRC melhor será o equilíbrio entre as cores.

2.2.16 - Intensidade Luminosa (IL): De uma fonte numa dada direção, é o quociente do fluxo luminoso saindo da fonte, propagado num elemento de ângulo sólido contendo a direção dada e o elemento de ângulo sólido. Unidade: candela - cd.

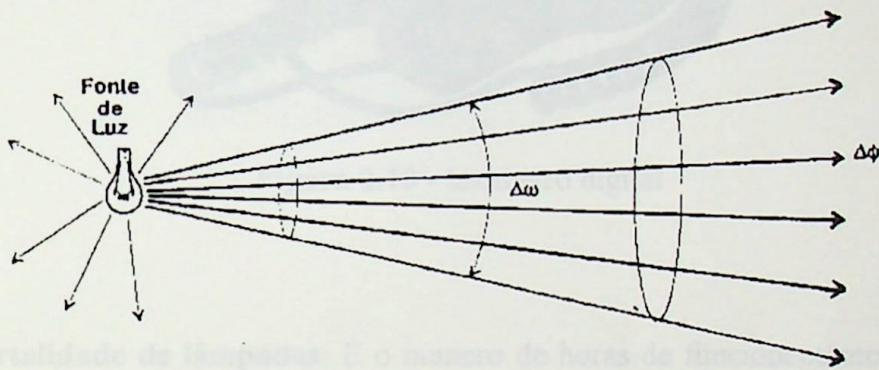


Figura 2.11 - Intensidade luminosa de uma fonte de luz - Fonte: [9]

2.2.17 - Luminância (L): A luminância de uma superfície é uma medida da luminosidade que um observador percebe refletido desta superfície. Unidade: candela por metro quadrado - cd/m^2 .

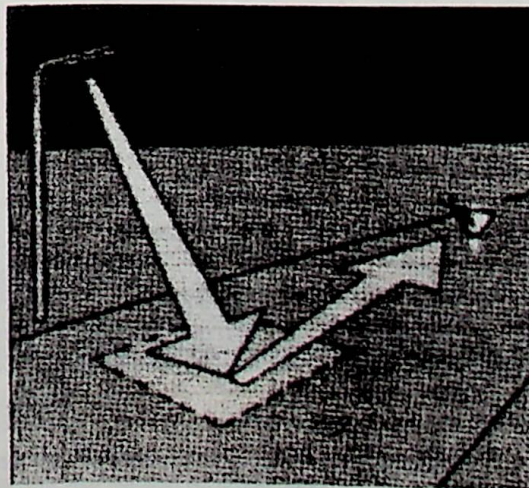


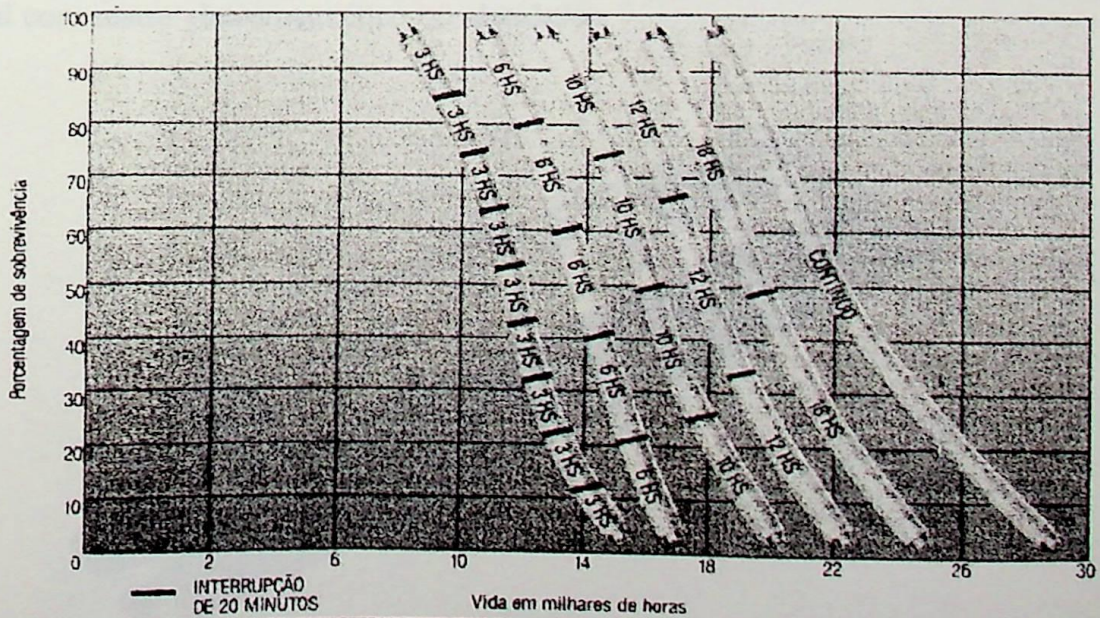
Figura 2.12 - Luminância de uma superfície

2.2.18 - Luxímetro: Instrumento utilizado para medição de iluminâncias em ambientes com iluminação natural e / ou artificial.



Figura 2.13 - luxímetro digital

2.2.19 - Mortalidade de lâmpadas: É o número de horas de funcionamento antes que uma certa percentagem das lâmpadas deixam de funcionar, é dependente do número de vezes que se acendem e se apagam em um dia.



Curva típica de mortalidade em função do ciclo de funcionamento (dados compilados de lâmpadas com vida nominal de 12000 horas).

Figura 2.14 - Gráfico de desempenho das lâmpadas fluorescentes - Fonte: [10]

2.2.20 - Ofuscamento: Efeito de uma luz forte (por exemplo, luminária) no campo de visão do olho. Pode provocar sensação de desconforto e prejudicar o desempenho visual para as pessoas presentes neste ambiente.

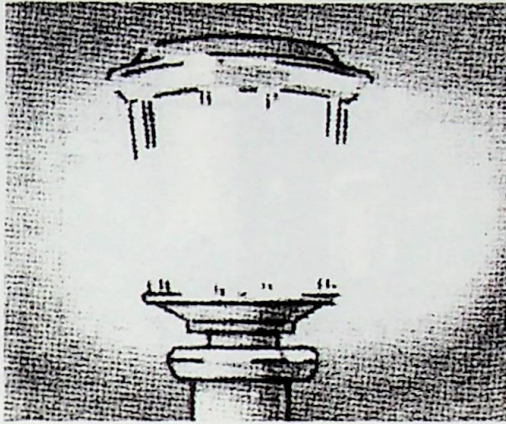


Figura 2.15 - Ofuscamento de uma luminária

2.2.21 - Reator: Equipamento que limita a corrente em uma lâmpada fluorescente e também fornece a tensão adequada para dar partida na lâmpada. Pode ser do tipo partida rápida ou convencional com reator eletromagnético ou eletrônico.

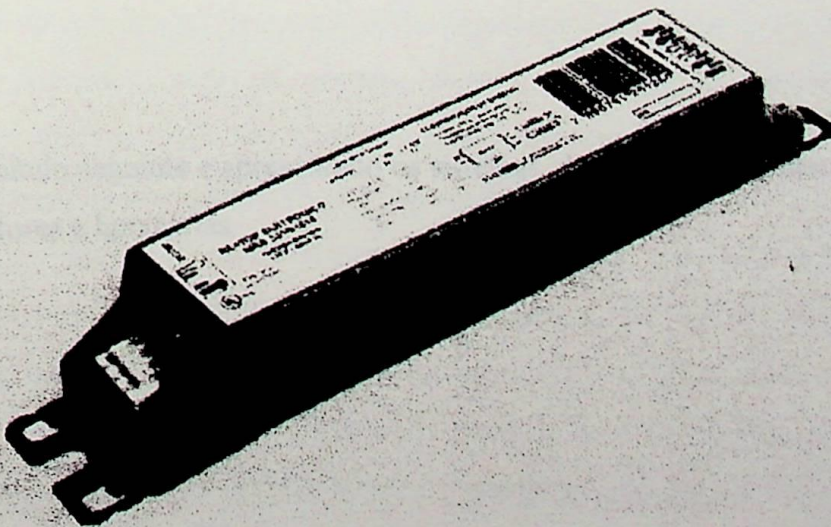


Figura 2.16 - Reator eletrônico para lâmpada fluorescente - Fonte: [11]

2.2.22 - Starter: Equipamento que fecha o circuito de partida convencional da lâmpada fluorescente para aquecer os filamentos, e depois abre o circuito para a partida da lâmpada.

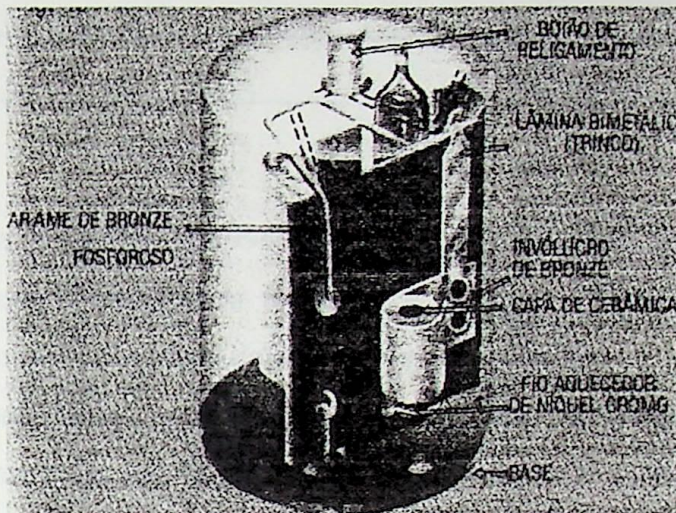


Figura 2.17 - Mecanismo de um starter com religação manual.- Fonte: [10]

2.2.23 - Temperatura de Cor Correlata (TCC): É um termo usado para descrever a cor de uma fonte de luz. A TCC é medida em Kelvin, variando de 1500K, cuja aparência é laranja/vermelho até 9000K, cuja aparência é azul. As lâmpadas com TCC maior que 4000K são chamadas de aparência “fria”, as lâmpadas com TCC menores que 3100K são de aparência “quente” e as lâmpadas com TCC entre 3100 e 4000K são chamadas de aparência “neutra”.

No capítulo seguinte é apresentado os sistemas de iluminação contendo alguns tipos de lâmpadas, reatores e luminárias.

CAPÍTULO 3 - SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

3.1 - INTRODUÇÃO

O Brasil possuía até o ano de 1996 uma capacidade instalada de geração elétrica de 60.756 MW [12] e necessita, entre outras formas de energia, da eletricidade para continuar a crescer e oferecer uma melhor qualidade de vida para sua população.

A iluminação representa cerca de 25% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no comércio e serviços e o restante na indústria e iluminação pública [1]. O consumo está disperso entre mais de 30 milhões de domicílios e 3 milhões de estabelecimentos comerciais, dificultando uma ação horizontalizada que atinja todo o público alvo.

Considerando que parte desta população possui baixos padrões de qualidade de vida, é desejável que qualquer redução do consumo de energia se processe sem dificultar o oferecimento dos serviços disponíveis através da eletricidade.

Contribuem para o mercado brasileiro de produção de lâmpadas quatro grandes fabricantes mundiais aqui estabelecidos industrialmente, associados à Associação Brasileira da Indústria de Iluminação - ABILUX. O mercado de iluminação brasileiro é extremamente dinâmico e competitivo, sendo que em 1993 foram comercializadas mais de 420 milhões de lâmpadas e 14 milhões de reatores [1].

Desta forma o emprego de novas tecnologias em equipamentos de iluminação pode desempenhar um importante papel na redução do consumo de energia elétrica, tendo em vista a maior eficiência dos mesmos [13], [14]. Com isso, sistemas de iluminação mais eficientes vem sendo gradativamente utilizados no mercado. Assim a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas pode significar uma economia de demanda de pico sem muita alteração no fluxo luminoso. No período de pico, o sistema funciona com uma carga pesada e as tarifas de energia elétrica e demanda são as mais elevadas. Considerando-se ainda as perdas verificadas na transmissão e na distribuição da energia, a redução da demanda de pico na usina hidrelétrica poderá ainda atingir valores superiores.

As lâmpadas energeticamente mais eficientes disponíveis no mercado possuem características diversificadas entre si, como, por exemplo, vida útil, preço de aquisição e

eficiência luminosa. A utilização de uma em detrimento de outra pode ser uma opção de tomada de decisão mais abrangente com enfoques, entre outros, sociais e ambientais.

No segmento residencial predominam lâmpadas incandescentes, com baixo rendimento luminoso e utilização indevida: lustres ou luminárias que não aproveitam plenamente a fonte de luz ou períodos de acendimento em ambientes vazios. Observa-se uma relativa penetração de lâmpada fluorescente convencional em cozinhas, banheiros e áreas de serviço.

No segmento comercial observa-se um significativo incremento da iluminação eficiente, notadamente no setor bancário, lojas de departamento e prédios de escritórios. Projetos racionais, equipamentos eficientes e um eficaz gerenciamento do sistema de iluminação tem proporcionado significativa economia, cuja tarifa é mais elevada e onde a iluminação responde por quase 44% dos custos da energia elétrica [1].

No setor industrial verifica-se uma grande incidência de lâmpadas ineficientes (incandescentes ou mistas).

A iluminação pública ainda apresenta um significado grau de desperdício energético, causado por equipamentos ineficientes, ou pela utilização plena do fluxo luminoso em horários de baixa densidade de tráfego.

Este capítulo apresenta inicialmente uma análise dos sistemas de iluminação existentes abrangendo lâmpadas, reatores e luminárias [8], [9], [15], [16]. Procura-se, sempre que possível, ressaltar nesta análise características relacionadas com a conservação de energia elétrica.

3.2 - FONTE DE LUZ ARTIFICIAL

Desde a invenção da lâmpada incandescente em 1879 por Thomas Alva Edison, as lâmpadas alcançaram melhorias tecnológicas que possibilitaram uma maior eficiência energética como o aumento de vida útil e o menor consumo, resultado de vários anos de pesquisa de sistemas e materiais feitos por um grande número de pesquisadores. Atualmente as fontes de luz artificial podem ser agrupadas em dois grupos principais: lâmpadas incandescentes e lâmpadas de descarga [17], [18], [19], [20], [21].

3.3 - LÂMPADAS INCANDESCENTES

As lâmpadas incandescentes produzem luz pelo aquecimento de um fio fino de tungstênio causado pela passagem da corrente elétrica. São compostas de bulbo, filamento, gás e base conforme a Figura 3.1.

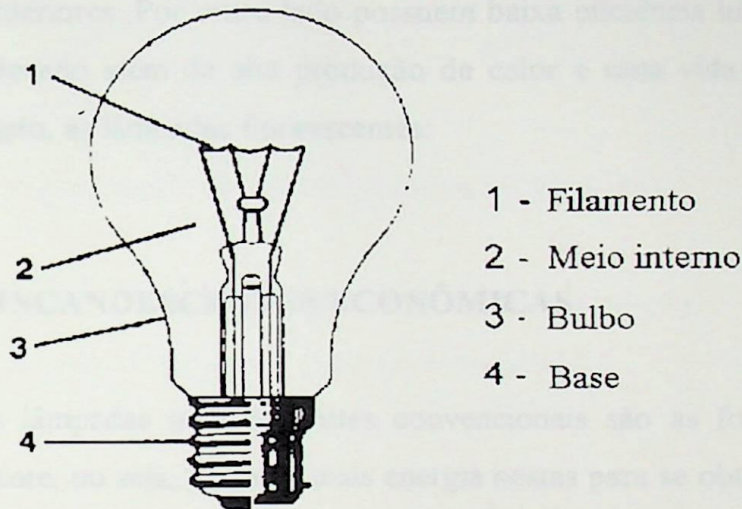


Figura 3.1 - Componentes da lâmpada incandescente

O bulbo é um invólucro de vidro selado, podendo ser transparente, translúcente branco ou colorido. O filamento das primeiras lâmpadas eram de carvão, sendo atualmente de tungstênio, que possui baixa taxa de evaporação e ponto de fusão elevado. Quanto maior a temperatura do filamento, maior será a radiação na região visível do espectro e maior a eficácia luminosa da lâmpada. Espiralando o filamento tem-se o aumento da eficácia luminosa e a diminuição do tamanho do filamento, ocasionando menores perdas por condução e convecção.

Enchendo o bulbo com um gás inerte, a evaporação do gás é menor e a temperatura de funcionamento do filamento é maior. Nitrogênio e argônio são os gases mais usados. O criptônio é um gás que causa menores perdas mas só é utilizado em lâmpadas especiais devido ao preço elevado.

A base serve para ligar a lâmpada ao receptáculo, podem ser bases de rosca ou baioneta. O material utilizado, geralmente, é de latão, alumínio ou níquel.

As lâmpadas incandescentes podem ser empregadas em decoração, iluminação específica (geladeira, fogão, uso fotográfico, etc.) e em iluminação geral. Para esta última finalidade podemos classificá-las em lâmpadas incandescentes convencionais ou econômicas.

3.3.1 - LÂMPADAS INCANDESCENTES CONVENCIONAIS

As lâmpadas incandescentes convencionais podem ser utilizadas em ambientes residenciais, comerciais e industriais. Possuem geralmente potências de 15 a 500 W, permitindo sua instalação com um baixo investimento inicial e sem necessidade de dispositivos auxiliares. Tem fácil manutenção, tamanho reduzido e podem ser utilizadas para iluminação geral e localizada de interiores. Por outro lado possuem baixa eficiência luminosa, apresentam custos de utilização elevado além de alta produção de calor e uma vida média reduzida, se comparadas, por exemplo, às lâmpadas fluorescentes.

3.3.2 - LÂMPADAS INCANDESCENTES ECONÔMICAS

Atualmente, as lâmpadas incandescentes convencionais são as fontes de luz menos eficientes energeticamente, ou seja, gasta-se mais energia nestas para se obter um mesmo fluxo luminoso do que em outras fontes. No entanto, existem várias aplicações nas quais a lâmpada incandescente, devido as suas características de excelente reprodução de cores, funcionamento instantâneo, baixo custo inicial, facilidade de instalação, etc; ainda é uma opção viável de uso. Devido a estes fatores, a indústria tem procurado desenvolver um trabalho de melhoria deste produto produzindo novas lâmpadas economizadoras de energia ou com vida útil maior.

As primeiras permitem economizar energia proporcionando uma redução de 10% na potência elétrica. As outras permitem reduzir os custos de manutenção e são ideais para locais de difícil acesso, possuindo o dobro ou mais de vida média das lâmpadas convencionais.

3.4 - LÂMPADAS DE DESCARGA

A luz de uma lâmpada deste tipo é produzido por uma contínua descarga elétrica num gás ou vapor ionizado, às vezes em combinação com a luminescência de fósforos, que são excitados pela radiação da descarga.

Estas lâmpadas são geralmente compostas de um tubo de descarga, de eletrodos geralmente feitos de tungstênio, de um tubo externo e de uma base do tipo rosca ou baioneta. As lâmpadas de descarga podem ser de baixa e alta pressão. Como exemplo das primeiras tem-se as lâmpadas fluorescentes tubulares e as lâmpadas de sódio de baixa pressão enquanto que para as demais podemos citar as lâmpadas de mercúrio e vapor de sódio de alta pressão.

Equipamentos auxiliares, como reator e starter, são comumente utilizados com lâmpadas de descarga.

3.4.1 - LÂMPADAS DE DESCARGA DE BAIXA PRESSÃO

Entre as lâmpadas que se enquadram nesta classificação, tem-se as lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão.

3.4.1.1 - LÂMPADA FLUORESCENTE TUBULAR

A lâmpada fluorescente é uma fonte de descarga elétrica que faz uso de energia ultravioleta gerada pelo vapor de mercúrio, a baixa pressão, que ativa uma camada de material fluorescente (fósforo) revestida na parte interna de um tubo de vidro.

O fósforo converte radiação ultravioleta em luz visível e a cor ou comprimento de onda da luz produzida depende da composição do fósforo utilizado, conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Fósforos e cores fluorescentes. - Fonte: [10]

FÓSFORO	APARÊNCIA
Borato de cádmio	Rosada
Halofosfato de cálcio	Branca
Silicato de cálcio	Alaranjada
Tungstato de cálcio	Azul
Germanato de magnésio	Azul
Tungstato de magnésio	Branca azulada
Halofosfato de estrôncio	Verde clara
Silicato de zinco	Verde

A lâmpada é basicamente um bulbo tubular com a parede interna revestida e que contém uma pequena quantidade de mercúrio e gás inerte a uma baixa pressão. Um filamento de tungstênio espiralado tratado e revestido de material emissor de elétrons, chamado de cátodo quente, é selado nas duas extremidades do tubo. A Figura 3.2 mostra como a luz é gerada em uma típica lâmpada fluorescente .

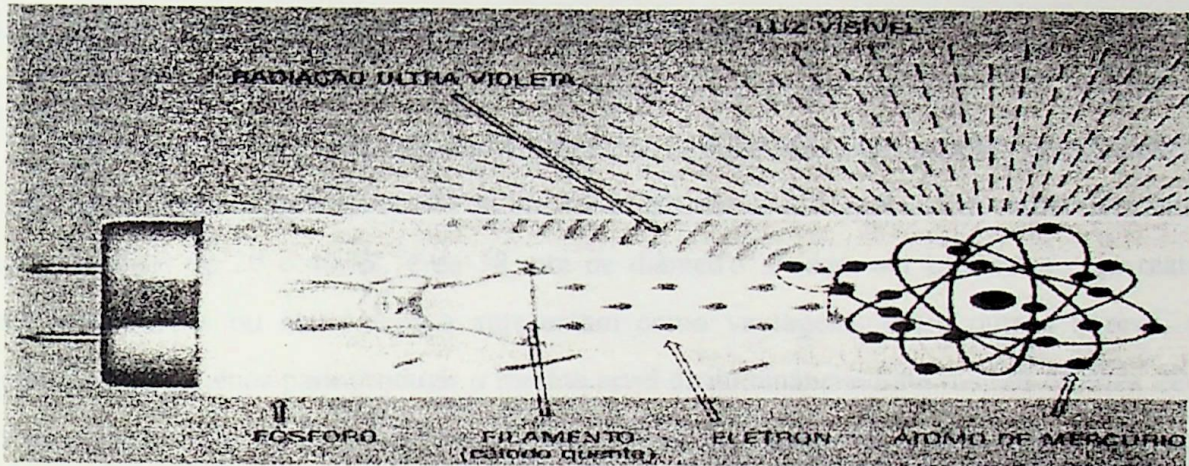


Figura 3.2 - Modo de produção de luz em uma lâmpada fluorescente típica - Fonte: [10]

Quando uma lâmpada fluorescente é ligada, a passagem da corrente elétrica através dos filamentos causa o seu aquecimento e a liberação de elétrons do material com o qual são cobertos. Além desses elétrons termicamente liberados existe também elétrons que são desprendidos pela diferença de potencial entre os eletrodos. Esses elétrons se movimentam em altíssima velocidade de um eletrodo para outro, criando uma descarga elétrica ou um arco de vapor de mercúrio. A lâmpada é rapidamente aquecida aumentando a pressão do vapor de mercúrio ao seu nível mais eficiente.

Este arco possui certas características que variam de acordo com: o gás utilizado, a pressão do gás e a voltagem aplicada aos filamentos. A característica principal é a produção de luz visível e radiação ultravioleta. A contínua colisão entre os elétrons, desprendidos dos filamentos em alta velocidade, e os átomos de mercúrio, tiram os elétrons de mercúrio de suas órbitas. Parte desses elétrons deslocados, quase que imediatamente voltam à sua órbita original liberando a energia que absorveram, principalmente na forma de radiação ultravioleta. A radiação ultravioleta é convertida em luz visível pelo fósforo que tem a propriedade de absorver a energia ultravioleta e voltar a irradiá-la em outros comprimentos de onda, que por sua vez podem ser percebidas como luz visível.

A lâmpada fluorescente é utilizada largamente em iluminação comercial e industrial, bem como em letreiros luminosos e vem estendendo sua aplicação em residências. Esta abrangência no uso das lâmpadas fluorescentes se deve a sua boa eficiência luminosa, boa reprodução de cores e baixo custo operacional. As lâmpadas fluorescentes necessitam geralmente, para o seu funcionamento, de um reator e de um starter.

3.4.1.2 - LÂMPADA FLUORESCENTE ECONÔMICA

Pode-se encontrar no mercado vários tipos de lâmpadas fluorescentes econômicas, tais como as de potência de 16 e 32 W, de 26 mm de diâmetro, que substituem respectivamente as convencionais de 20 e 40 W, e de 38 mm de diâmetro. Podem ser utilizadas com reatores eletromagnéticos ou eletrônicos e apresentam como vantagens, entre outros fatores, uma potência 20 % menor para produzir o mesmo nível de iluminância, uma melhor estética devido ao seu menor volume, um menor obstáculo à reflexão das luminárias e uma melhor reprodução de cores.

Estas vantagens se devem a várias causas, onde destacam-se os pós de material fluorescente utilizados com maior eficiência e menor índice de deterioração, alteração do diâmetro do tubo, do gás utilizado e dos projetos do eletrodo e filamento.

Também existem as lâmpadas fluorescentes econômicas de 40 W de até 20% mais eficiência na relação lúmen/Watt, quando comparadas às convencionais de 40 W, graças ao uso do tri-fósforo. Possuem diâmetro de 30 mm proporcionando maior eficiência luminosa e, pelo fato de possuírem a mesma potência das fluorescentes comuns de 40 W, permitem utilização dos mesmos reatores.

Quando a necessidade primordial da instalação de iluminação for a quantidade de luz por comprimento, por exemplo nas luminárias em linhas contínuas, recomenda-se a lâmpada fluorescente do tipo High Output (HO) com diâmetro de 38 mm e comprimento de 2.400 mm que apresentam vantagens sob o ponto de vista econômico e prático. São encontradas na potência de 110 W empregando reator de partida rápida apropriado.

Um outro tipo de lâmpada fluorescente diferente das convencionais são aquelas que possuem sua vida média aumentada, em média de 7.500 para 12.000 horas. A diferença fundamental está nos seus catodos e na sua nova mistura emissiva especialmente desenvolvidos para alongar a vida das lâmpadas. São encontrados geralmente nas potências de 20 e 40 W,

possuem diâmetro de 38 mm e comprimento de 600 mm (lâmpadas de 20 W) e 1.200 mm (lâmpadas de 40 W).

A lâmpada fluorescente compacta é uma lâmpada de descarga de gás mercúrio a baixa pressão, com base provida de starter e capacitor à qual estão conectados os tubos de descarga interligados. O capacitor tem o objetivo de evitar o efeito de rádio interferência. Para seu perfeito desempenho em corrente alternada é necessário ligá-las a reatores que proporcionem condições de partida, limitem a corrente e ainda forneçam potência total às lâmpadas.

Estas lâmpadas possuem as boas características de reprodução de cor da lâmpada incandescente com um consumo consideravelmente menor e vida útil cerca de 8 vezes maior. Podem, desta forma, substituir as lâmpadas convencionais em várias aplicações utilizando-se um adaptador, que é o próprio reator, e possuindo a mesma base (rosca) das lâmpadas incandescentes. A lâmpada é encontrada geralmente nas potências de 5, 7, 9, 11 e 13 W. A Tabela 3.2 (Fonte: [17], [18], [19], [20]) fornece alguns valores para estas lâmpadas.

[4]

Tabela 3.2 - Valores médios típicos para lâmpadas fluorescentes ligadas em 127 V

TIPO DE LÂMPADA FLUORESCENTE	POTÊNCIA [W]	FLUXO LUMINOSO [lm]	VIDA MÉDIA [h]
CONVENCIONAL	15	850	7.500
	20	1.060	7.500
	30	2.000	7.500
	40	2.700	7.500
ECONÔMICA	16	1.020	10.000
	32	2.500	10.000
ECONÔMICA (H. O.)	60	3.850	12.000
	85	5.900	12.000
	110	8.200	12.000
ECONÔMICA COMPACTA	5	250	8.000
	7	400	8.000
	9	600	8.000
	11	900	8.000
	13	900	8.000

FIG. 6

3.4.1.3 - LÂMPADA DE SÓDIO

Este tipo de lâmpada de descarga se caracteriza por apresentar uma radiação quase monocromática na cor amarela, alta eficiência luminosa, podendo atingir até 200 lm/W e longa vida útil. Por este motivo, a lâmpada encontra aplicação onde a reprodução de cor é de reduzida importância, e onde os reconhecimentos por contrastes são importantes como, por

exemplo, em rodovias, portos e pátios de manobras. Estas lâmpadas podem ser encontradas nas potências de 18 a 180 W. A Figura 3.3 apresenta as partes componentes desta lâmpada.

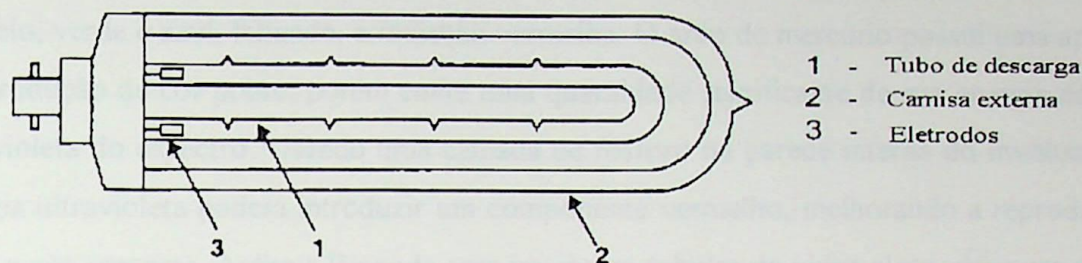


Figura 3.3 - Componentes da lâmpada de sódio de baixa pressão. - Fonte: [17]

3.4.2 - LÂMPADAS DE DESCARGA DE ALTA PRESSÃO

Entre as lâmpadas de descarga de alta pressão veremos as de mercúrio de alta pressão, lâmpada de luz mista, lâmpada de vapor de sódio a alta pressão e a lâmpada de vapor metálico.

3.4.2.1 - LÂMPADA DE MERCÚRIO

Estas lâmpadas possuem um bulbo semelhante ao das incandescentes mas operam como as fluorescentes, através da descarga elétrica numa mistura de vapor de mercúrio com pequena quantidade de argônio, atingindo altas pressões internas durante o seu funcionamento.

Basicamente são formadas por um bulbo de vidro claro que encerra em seu interior um tubo de arco, onde se produz o efeito luminoso. O bulbo externo normalmente contém um gás inerte (sob pressão atmosférica quando a lâmpada está operando) que estabiliza a lâmpada, mantendo uma temperatura praticamente constante sobre a faixa normal das condições ambientais. A Figura 3.4 apresenta as partes componentes da lâmpada de mercúrio.

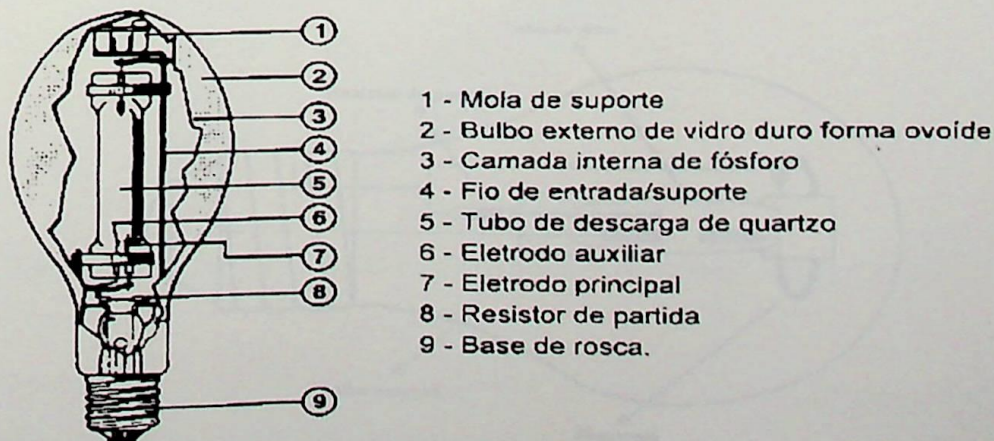


Figura 3.4 - Componentes da lâmpada de mercúrio de alta pressão - Fonte: [17]

A lâmpada de mercúrio de alta pressão tem a aparência branca azulada, pois o arco produz um espectro de linha com uma emissão na região visível nos comprimentos de onda amarelo, verde e azul, faltando, a radiação vermelha. O arco de mercúrio possui uma aparência e reprodução de cor pobre, porém emite uma quantidade significativa de sua energia na região ultravioleta do espectro. Usando uma camada de fósforo na parede interna do invólucro, esta energia ultravioleta poderá introduzir um componente vermelho, melhorando a reprodução de cor e a cor aparente. Assim a lâmpada com invólucro tubular de vidro claro, deve ser utilizada em ambientes onde não haja necessidade de distinguir detalhes, como por exemplo: iluminação de grandes áreas e fachadas, iluminação de ruas, postos de gasolina, estacionamentos, pátios e áreas livres. Para aplicações onde há necessidade de uma melhor reprodução de cores, como em ambientes industriais e comerciais, utiliza-se a lâmpada com revestimento de fósforo.

3.4.2.2 - LÂMPADA DE LUZ MISTA

Esta lâmpada pertence à família de lâmpadas de alta intensidade de descarga, sendo baseada nas lâmpadas de vapor de mercúrio. São encontradas geralmente nas potências de 160, 250 e 500 W para uma tensão de 220 V. Diferentemente das lâmpadas de vapor de mercúrio a luz desta é produzida pela passagem da corrente elétrica, através de um vapor de gás sob pressão, e de um filamento incandescente, conectado em série com o tubo de descarga, que além de funcionar como fonte luminosa, se comporta como resistência estabilizadora da descarga do vapor de mercúrio. As partes componentes desta lâmpada estão apresentadas na Figura 3.5. Esta lâmpada não utiliza reator, com isto, as instalações de iluminação existentes que utilizam lâmpadas incandescentes podem ser modernizadas com o uso de lâmpadas de luz mista, que possui vida média de até 6 vezes maior que as lâmpadas incandescentes.

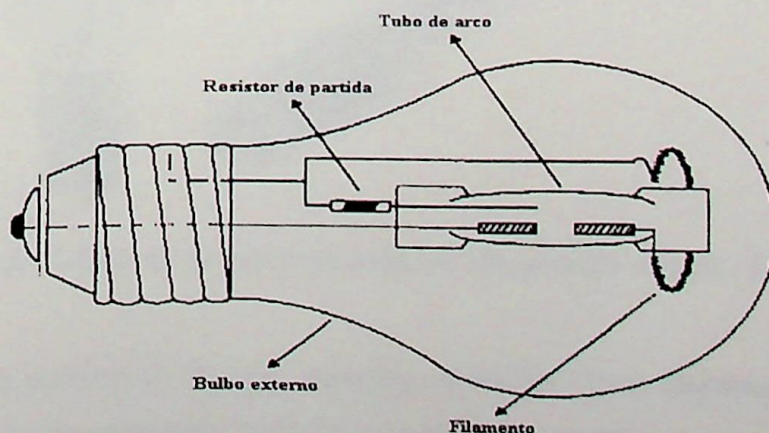


Figura 3.5 - Componentes de uma lâmpada mista - Fonte: [20]

No começo do acendimento o filamento brilha produzindo fluxo luminoso superior ao nominal, posto que quase toda a tensão de rede está aplicada nos seus extremos. Na medida em que o fluxo aumenta no tubo de descarga, é reduzida a tensão aplicada no filamento, até que os dois (filamento e arco) atinjam o seu valor nominal. Se a lâmpada for desligada, esta só poderá ser reacendida após passado alguns minutos, pois a pressão do tubo de descarga estará muito alta no instante do desligamento, impossibilitando o início da descarga.

O bulbo externo pode quebrar-se, em operação, se for atingido por líquido frio ou parte fria da luminária. A lâmpada deve ser instalada em luminárias com boa proteção contra choques térmicos e mecânicos, sem superaquecimento para a lâmpada e, no caso de uso externo, em luminária fechada com boa vedação. Podem ser utilizadas, por exemplo, em ambientes externos ou internos de áreas industriais e iluminação de ruas e praças.

3.4.2.3 - LÂMPADA DE VAPOR DE SÓDIO

Este tipo de lâmpada é o mais eficiente da família de lâmpadas de descarga de alta pressão. Sua aparência é de cor branca amarelada, apresentando uma grande vida útil. Elas irradiam energia sobre uma grande parte do espectro visível e, em comparação com as lâmpadas de sódio de baixa pressão, proporcionam uma reprodução de cor razoavelmente boa em qualquer ambiente. A Figura 3.6 apresenta uma lâmpada de sódio de alta pressão.

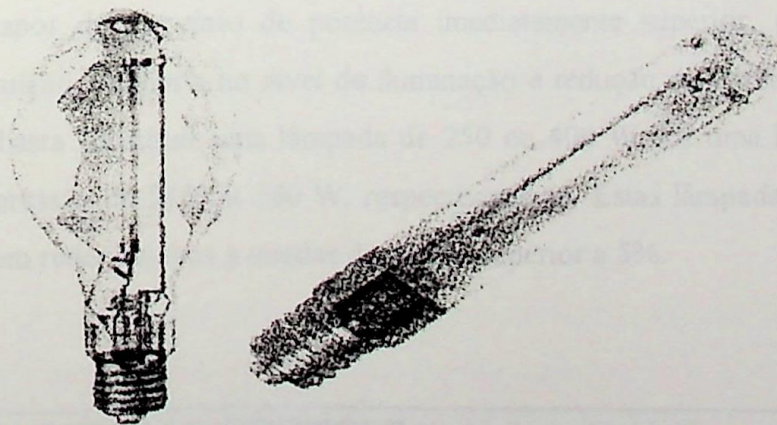


Figura 3.6 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão - *Fonte: [18]*

É utilizada em iluminação de ruas, avenidas, indústrias, áreas internas, externas e de proteção, em fachadas e monumentos. Podem ser geralmente encontradas nas potências de 50,

70, 150, 250 e 400 W. As potências menores servem para aplicações internas e externas de pequena altura de montagem.

A lâmpada não possui eletrodo de partida, sendo sua ignição realizada pelo gás xenom. Para o arranque é utilizado um circuito eletrônico que trabalha com os componentes magnéticos do reator. O tubo de descarga é construído com cerâmica de óxido de alumínio policristalino. Este material é utilizado devido à resistência que apresenta ao efeito corrosivo do sódio a altas temperaturas.

Se ocorrer uma interrupção de energia, esta lâmpada retornará ao seu brilho máximo em aproximadamente um minuto, necessitando para isto, um período de aquecimento de 3 a 4 minutos. Durante o período de aquecimento tem-se, inicialmente um brilho branco azulado, produzido pela descarga do xenom, o qual é rapidamente transformado na típica cor azul do vapor de mercúrio. Posteriormente temos a passagem para uma cor amarela monocromática, característica da descarga do vapor de sódio.

Para a ignição, a lâmpada requer tensões extremamente elevadas, devido à geometria do tubo de descarga, o qual deverá ser comprido e estreito, a fim de se obter a máxima eficácia. Com esta geometria e o fato desta lâmpada não possuir eletrodos de partida, é necessário um ignitor, trabalhando em conjunto com o reator. Durante a operação, uma parte do sódio é perdida na forma de amálgama, com mercúrio; para se evitar a perda de eficiência é introduzida uma quantidade ligeiramente superior de sódio.

Existe no mercado lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão intercambiáveis com a lâmpada de vapor de mercúrio de potência imediatamente superior, proporcionando, por simples substituição, melhoria no nível de iluminação e redução da potência instalada. Assim, por exemplo, basta substituir uma lâmpada de 250 ou 400 W por uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão de 215 ou 360 W, respectivamente. Estas lâmpadas, porém não devem ser instaladas em redes sujeitas a quedas de tensão superior a 5%.

3.5 - EQUIPAMENTOS DE CONTROLE

Os equipamentos tradicionais de controle utilizados para o acendimento das lâmpadas são os starters e os reatores [11], [22], [23], [24].

3.5.1 - STARTERS

A função principal de um starter é fechar o circuito de partida da lâmpada fluorescente (partida convencional) enquanto os filamentos estão sendo aquecidos, e então abrir o circuito para a partida da lâmpada. Se o arco falha, o starter continua tentando até que a lâmpada acenda. Uma outra função em starters com proteção é desconectar a lâmpada do circuito de partida quando ele falha após várias tentativas.. Os starters podem ser do tipo térmico ou de descarga luminescente, sendo este último o mais usado. A Figura 3.7 ilustra um circuito típico de partida convencional com starter a descarga luminescente.

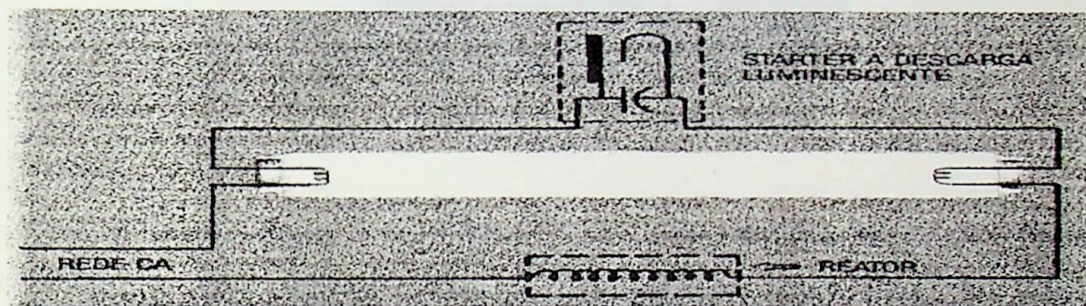


Figura 3.7 - Circuito de partida convencional em lâmpada com starter a descarga luminescente

Fonte: [10]

3.5.1.1 - COMPONENTES DO STARTER

O starter é composto de uma ampola de vidro (glow-bottle) contendo gás (Neon e/ou Argônio) e um conjunto (par bimetálico e/ou um eletrodo) que se deforma sob ação de calor.

3.5.1.2 - SEQÜÊNCIA DE OPERAÇÃO

A seqüência de operação é apresentado de acordo com as Figuras 3.8, 3.9 e 3.10.

A) Starter não energizado (Figura 3.8): Contatos abertos.

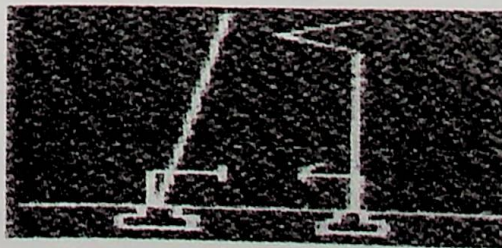


Figura 3.8 - Starter não energizado

B) Starter energizado (Figura 3.9): Com a tensão aplicada aos pinos do starter inicia-se a ionização do gás e há uma descarga entre o conjunto (de pares bimetálicos e/ou um eletrodo) que aquecidos deformam-se fechando os contatos. Nestas condições a corrente de curto do reator circula através do starter e dos filamentos da lâmpada pré-aquecendo-os. Com os contatos fechados, cessa a ionização do gás e o par bimetálico se resfria tendendo a retomar a posição inicial abrindo os contatos.

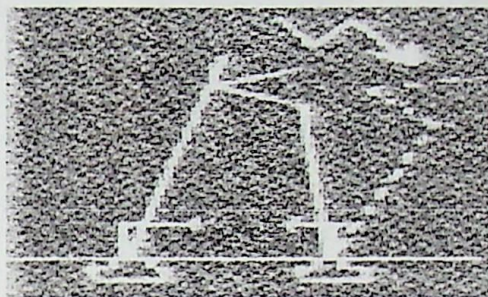


Figura 3.9 - Starter energizado

C) A súbita separação dos contatos (Figura 3.10) provoca um surto controlado de tensão entre os filamentos pré-aquecidos da lâmpada acendendo-a. Se a lâmpada não acender o ciclo de partida, é repetido. Uma vez acesa, a tensão através da lâmpada e do starter cai a um ponto insuficiente para se desenvolver um novo arco. Assim o starter não consome energia quando a lâmpada está funcionando e está disponível para reinício imediato por ocasião de novo acendimento.

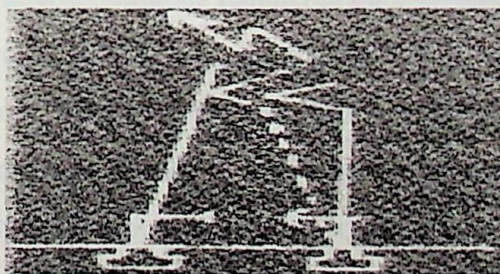


Figura 3.10 - Separação dos contatos

3.5.1.3 - STARTER COM RELIGAÇÃO MANUAL

Quando uma lâmpada fluorescente chega ao fim da vida, não irá acender mesmo com tentativas repetidas de partida. Seja o starter com interruptor térmico ou de descarga luminescente, os filamentos continuarão a piscar intermitentemente até que o starter danifique ou a lâmpada seja substituída. Além do mais, o reator também poderá ser danificado devido ao

excesso de aquecimento. Um starter de religação manual evita este problema. A Figura 3.11 e o diagrama da Figura 3.12 ilustram este tipo de starter.

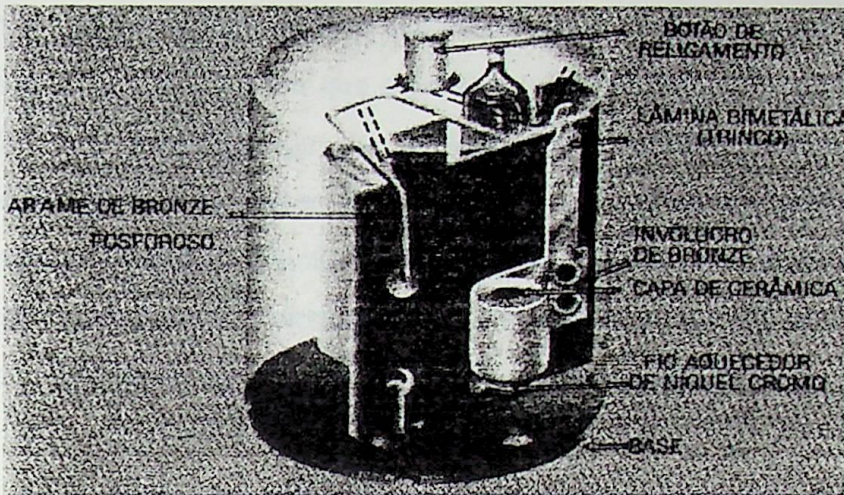


Figura 3.11 - Mecanismo de um starter com religação manual - Fonte: [10]

Junto com o interruptor de descarga luminescente, o circuito do starter inclui um pequeno resistor de arame níquel-cromo fechado em uma capa de cerâmica, e envolto por um invólucro de bronze. O invólucro é fixado numa faixa bimetálica que serve como trinco sobre uma mola de arame de bronze fosforoso. A capa de cerâmica retarda a transferência de calor do fio de níquel-cromo ao invólucro de bronze; assim, o trinco bimetálico não é afetado pelo calor, quando o starter precisar de apenas algumas tentativas para acender a lâmpada. Entretanto, se a lâmpada falhar após repetidas tentativas, o calor gerado será suficiente para movimentar a faixa bimetálica, liberando a mola, abrindo assim o circuito e mantendo a lâmpada apagada. O circuito só será ativado novamente quando o botão de religação for acionado. Este tipo de starter protege o reator e evita o aborrecimento causado por uma lâmpada piscando.

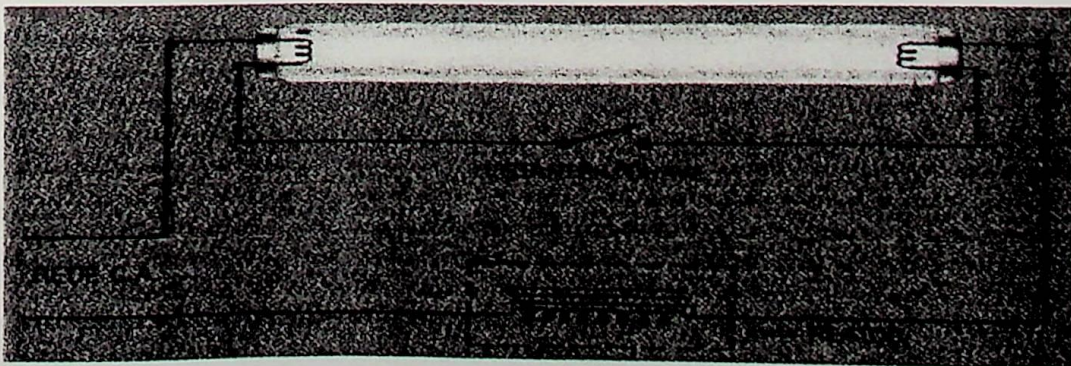


Figura 3.12 - Circuito de partida para starter com religação manual - Fonte: [10]

3.5.1.4 - STARTER COM RELIGAÇÃO AUTOMÁTICA

Embora o starter com religação manual dê proteção ao circuito, desligando a lâmpada que falha, ele pode desligar a lâmpada sem que esta tenha falhado. Em uma indústria, por exemplo, pode ocorrer um período em que a linha de alimentação sofra oscilações; caso a tensão esteja baixa e a umidade do ar alta, algumas lâmpadas não partirão. O starter de religação automática possui um resistor extra que mantém os contatos abertos durante o tempo em que a tensão é fornecida à lâmpada. Se a lâmpada não esteve queimada, mas apenas desligada por algum motivo como o mencionado anteriormente, a lâmpada partirá novamente tão logo a lâmpada esfrie. Este tempo de esfriamento leva cerca de um minuto.

3.5.2 - REATORES

Os reatores são dispositivos auxiliares empregados na operação das lâmpadas de descarga. Procura-se, com a sua utilização, limitar a corrente. Entre outras características, o reator deverá apresentar um fator de potência elevado, baixa porcentagem de harmônicos na corrente, alta frequência para audiofrequência e pequenas perdas. Este último fator associado a uma longa vida útil e baixo nível de consumo favorece o equipamento quando se está preocupado com a conservação de energia. O consumidor às vezes procura, por um lado, considerar o aspecto econômico e, por outro, verificar as características como tamanho / peso, apresentação e nível de ruído.

A principal função de um reator é limitar a corrente para uma lâmpada fluorescente. Um reator também proporciona suficiente voltagem para partida e operação da lâmpada. Nos casos dos circuitos de partida rápida, o reator proporciona voltagem para aquecer os cátodos da lâmpada continuamente.

Uma lâmpada fluorescente é um dispositivo onde se estabelece o arco, graças a uma descarga elétrica. Quanto mais corrente no arco, menor será a resistência. Sem o reator para limitar a corrente, a lâmpada demandaria tanta corrente que se destruiria facilmente.

Um reator indutivo constitui a solução mais prática para limitar a corrente da lâmpada. O reator indutivo mais simples é uma espiral inserida dentro do circuito. Isto funciona satisfatoriamente em lâmpadas de baixa potência. No entanto, para a maioria das lâmpadas

fluorescentes, a voltagem das linhas deve ser aumentada para fornecer tensão de partida suficiente. Os circuitos de partida rápida requerem ainda uma tensão baixa para aquecer os eletrodos continuamente. Para atender a estes requisitos, a maioria dos reatores possui transformadores.

O fluxo luminoso, a vida e a segurança de partida de uma lâmpada fluorescente depende muito do projeto do transformador. Existem normas especificando os requisitos necessários ao bom desempenho da lâmpada. Os reatores que seguem essas especificações fazem as lâmpadas fluorescentes produzirem excelentes serviços e um ótimo fluxo luminoso.

Tendo em vista que as lâmpadas fluorescentes não são conectadas diretamente à rede elétrica, e sim a um reator, não há tensão específica associada a qualquer lâmpada fluorescente. O reator no entanto, é ligado à linha durante a operação. Daí serem os reatores especificados para uma faixa de tensão. Na maioria dos circuitos de iluminação são encontradas condições de voltagem variável; assim, os reatores e as lâmpadas devem ter desempenho satisfatório numa faixa razoável de voltagem do circuito. A tensão de linha é também um fator que concorre para a segurança da partida. Desta forma, uma voltagem mais baixa do que a recomendada pode causar partida insatisfatória.

Os reatores das lâmpadas fluorescentes são agrupados de acordo com o seu uso para corrente alternada ou contínua. Reatores de corrente alternada são subdivididos para serem utilizados em lâmpadas com ou sem starter. Todas as lâmpadas de descarga, com exceção da lâmpada de mercúrio de alta pressão, necessitam de uma voltagem superior à da rede para iniciar a descarga. Estas lâmpadas, portanto, devem ser operadas com algum tipo de dispositivo de ignição. A seguir tem-se, na Figura 3.13, um reator eletrônico.

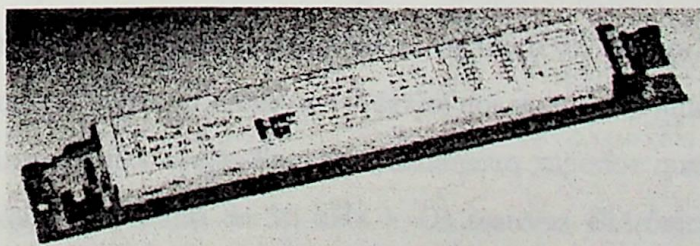


Figura 3.13 - Reator eletrônico de alta frequência - *Fonte: [11]*

3.5.2.1 - REATORES CONVENCIONAL E ELETRÔNICO

As lâmpadas fluorescentes que possuem os eletrodos pré-aquecidos e utilizam starter necessitam de uma tensão elevada de partida. O pré-aquecimento normalmente é feito por um

dispositivo que coloca os eletrodos em série com o reator. Com a interrupção do circuito de corrente no starter, tem-se no reator a geração de um pulso indutivo de tensão que irá acender a lâmpada (Figura 3.14). O starter pode ser acionado manual ou automaticamente, por exemplo, através de um elemento bimetálico que fecha e abre os contatos por efeito térmico.

A lâmpada pode funcionar sem starter e, neste caso, tem-se as de partida rápida e aquelas de partida instantânea. Os eletrodos das lâmpadas de partida rápida são aquecidos por bobinas de tensão reduzida instaladas no reator. Nas lâmpadas de partida instantânea, a ignição depende da aplicação de uma alta voltagem sobre a lâmpada fornecida pelo reator. Todas as lâmpadas sem starter são tratadas com uma camada transparente repelente contra água no bulbo exterior, para garantir ignição confiável sob condições de umidade.

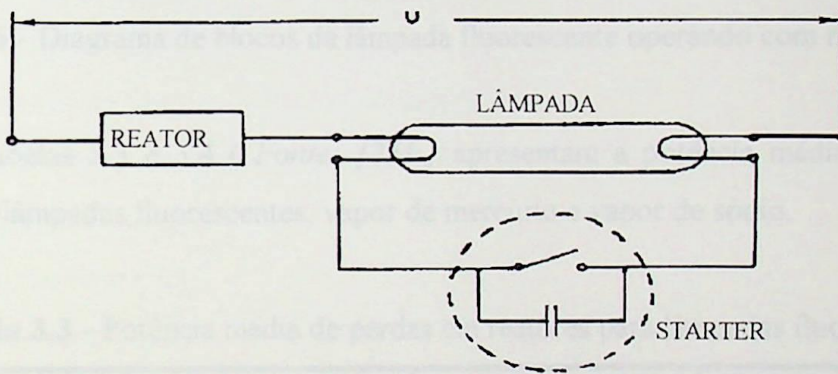


Figura 3.14 - Esquema de uma lâmpada fluorescente com starter

O starter convencional pode ser substituído por um circuito de ignição eletrônico originando assim os reatores híbridos. Após o instante inicial da partida quando então a lâmpada se acende, o dispositivo eletrônico desliga-se automaticamente, cortando a corrente para os eletrodos. Este fator, associado a um possível emprego de chapas de baixa perda no núcleo dos reatores, reduz as perdas e aumenta a vida útil dos mesmos (Figura 3.15).

As lâmpadas fluorescentes apresentam um rendimento superior quando são operadas com frequências elevadas (em torno de 30 kHz). Os reatores eletrônicos através de um circuito oscilador de alta frequência, possibilitam uma maior eficiência lúmens por watt. Além deste circuito oscilador, pode-se encontrar um filtro com a finalidade de reduzir os harmônicos e também eliminar interferências eletromagnéticas no sinal da rede. Um circuito de controle eletrônico visa estabilizar a operação da lâmpada mesmo com flutuações no sinal alimentador do sistema (Figura 3.16).

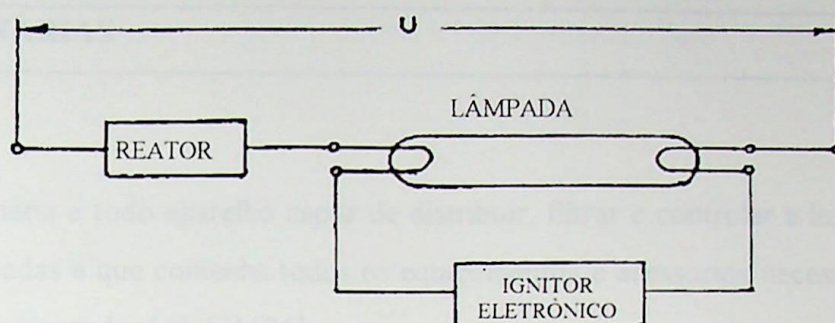


Figura 3.15 - Esquema de uma lâmpada fluorescente com ignitor eletrônico

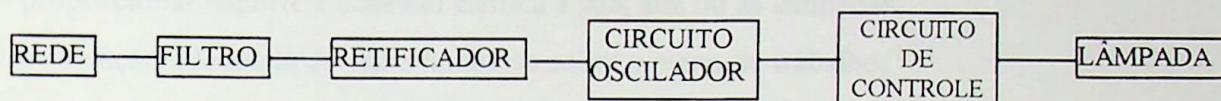


Figura 3.16 - Diagrama de blocos da lâmpada fluorescente operando com reator eletrônico

As Tabelas 3.3 e 3.4 (Fonte: [25]) apresentam a potência média das perdas nos reatores para lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio e vapor de sódio.

Tabela 3.3 - Potência média de perdas em reatores para lâmpadas fluorescentes

REATOR	LÂMPADAS (Quantidade X W)	CONVENCIONAL (Perdas em W)	PARTIDA RÁPIDA (Perdas em W)
SIMPLES	1 X 20	7	12
	1 X 40	13	15
DUPLO	2 X 20	14	24
	2 X 40	20	28
SIMPLES	1 X 16	---	15
	1 X 32	---	13
DUPLO	2 X 16	---	17
	2 X 32	---	21
SIMPLES	1 X 60	---	26
	1 X 110	---	32
DUPLO	2 X 60	---	32
	2 X 110	---	48

Tabela 3.4 - Perdas média em reatores para lâmpadas vapor de sódio e mercúrio

LÂMPADA	POTÊNCIA [W]	PERDAS [W]
VAPOR DE MERCÚRIO	80	11
	125	15
	250	28
	400	39
VAPOR DE SÓDIO	50	12
	70	15
	150	26
	250	27
	400	54

3.6 - LUMINÁRIAS

Luminária é todo aparelho capaz de distribuir, filtrar e controlar a luz gerada por uma ou mais lâmpadas e que contenha todos os equipamentos e acessórios necessários para fixar e proteger estas lâmpadas [4], [7] [26].

Os requisitos básicos que devem possuir são:

- proporcionar suporte e conexão elétrica à lâmpada ou às lâmpadas;
- orientação adequada do fluxo luminoso sobre o plano de trabalho;
- alto rendimento, passando ao ambiente o máximo fluxo luminoso que a lâmpada emite;
- facilidade de manutenção;
- boa conservação do fluxo luminoso no decorrer do uso;
- manter a temperatura de operação da lâmpada dentro dos limites estabelecidos;
- possuir uma aparência agradável;
- ser economicamente viável.

As luminárias podem ser classificadas segundo os mais diversos critérios: distribuição do fluxo luminoso (luminárias diretas, indiretas, semi-diretas), grau de proteção contra poeira e umidade (luminária sem proteção, proteção contra gotas de água, etc.), tipo de lâmpada a ser empregada (incandescente, fluorescente, etc.), finalidade da sua utilização (comercial, industrial, residencial) e método de fixação (embutida, semi-embutida, suspensa). Assim, por exemplo, de acordo com a CIE (Comissão Internacional de L'Eclairage) tem-se a seguinte classificação considerando a porcentagem do fluxo luminoso total dirigido para cima ou para baixo de um plano horizontal de referência.

Tabela 3.5 Classificação de luminárias para iluminação geral de acordo com o fluxo luminoso.

Fonte: [25]

Classificação da luminária	Fluxo luminoso em relação à referência (%)	
	Para cima	Para baixo
Direta	0 --- 10	90 --- 100
Semi-Direta	10 --- 40	60 --- 90
Geral-Difusa	40 --- 60	40 --- 60
Direta-Indireta	40 --- 60	40 --- 60
Semi-Indireta	60 --- 90	10 --- 40
Indireta	90 --- 100	0 --- 10

A Tabela 3.5 pode ser melhor compreendida através da Figura 3.17

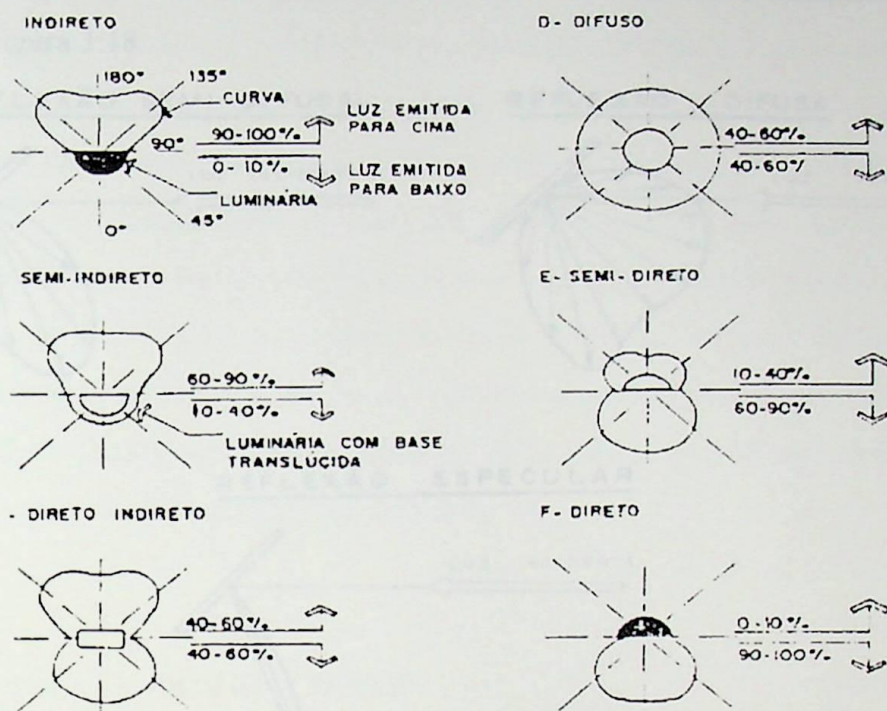


Figura 3.17 Classificação de luminárias conforme a CIE. - Fonte: [25]

3.6.1 - CARACTERÍSTICAS DAS LUMINÁRIAS

O rendimento de uma luminária é definido como a razão entre o fluxo luminoso (direto e indireto) fornecido pela luminária e o fluxo luminoso total emitido pelas lâmpadas contidas na mesma. Assim, utilizando esta definição, uma luminária que apresente um rendimento maior não é necessariamente aquela que possibilite uma maior economia de energia, pois a luz emitida para cima participa da iluminação indiretamente, via reflexão do teto. Desta forma, sob o ponto de vista da conservação de energia, é necessário que o fluxo emitido para baixo seja o maior possível e que o fator de reflexão do teto seja elevado. Ainda em relação à conservação de energia, outro aspecto interessante é notarmos que quanto menor for o bulbo da lâmpada, menor será a absorção de luz e calor pela mesma, facilitando o desempenho da luminária. Neste aspecto, as lâmpadas compactas, são beneficiadas em relação às convencionais. Para se avaliar as direções e as respectivas intensidade luminosas fornecidas pela luminária, utiliza-se a Curva de Distribuição Luminosa (CDL).

Luminárias que apresentam CDL semelhantes, podem apresentar rendimentos diferentes, dependendo dos materiais utilizados na confecção e acabamento do refletor e dos

elementos de controle de luz. Simplificadamente, pode-se classificar as reflexões em especular e difusa como tipos extremos, situando-se a reflexão semi-difusa como elemento intermediário, conforme a Figura 3.18.

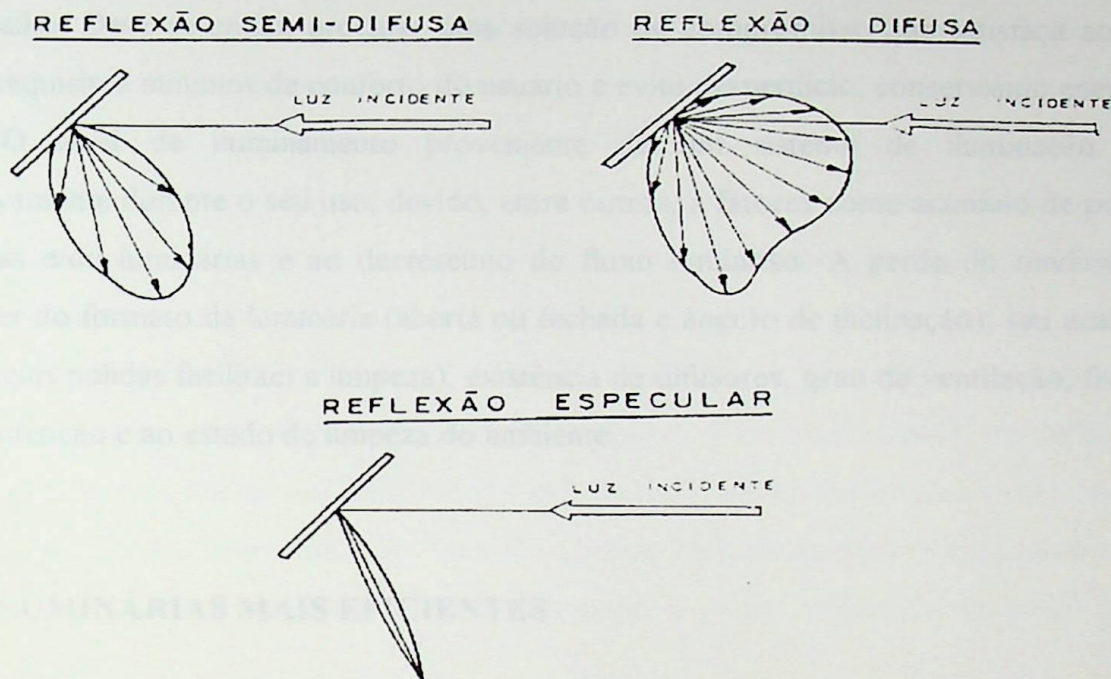


Figura 3.18 - Tipos de reflexões. - Fonte [15]

Na reflexão especular, a direção do raio refletido é definida pelo ângulo do raio incidente, enquanto que na reflexão difusa ocorre uma verdadeira dispersão do feixe incidente. Nas luminárias, os elementos refletores devem possuir um grau de reflexão elevado e o mais especular possível.

Os chamados elementos de controle de luz também são utilizados para reduzir os efeitos indesejáveis das luminâncias produzidos pelas luminárias. Como exemplos destes efeitos tem-se o ofuscamento direto ao usuário e as reflexões das luminárias em telas de vídeo. O louvre é uma proteção feita de componentes translúcidas ou opacos, para evitar a visão direta das lâmpadas num determinado ângulo. Outro dispositivo utilizado para reduzir estes efeitos, alterando a distribuição espacial do fluxo luminoso, é conhecido por difusor, que podem ser subdivididos em moldados ou aletados. Os difusores podem ser fabricados com vários materiais como: acrílico, plástico transparente ou leitoso. A utilização de aletas transversais também propicia um conforto visual com a eliminação do brilho e do ofuscamento.

Neste ponto é interessante ressaltar que o emprego de tais dispositivos ao reduzirem os valores da intensidade luminosa emitida pelas luminárias, provocam um aumento no consumo

de energia quando se procura compensar esta redução com a utilização de um número maior de lâmpadas ou lâmpadas com potências superiores. Por outro lado, o não uso destes dispositivos pode provocar uma redução na qualidade da luz emitida e prejudicar o ambiente de trabalho. Deve-se então, procurar uma solução de compromisso que satisfaça ao mesmo tempo requisitos mínimos de conforto do usuário e evite desperdício, conservando energia.

O nível de iluminamento proveniente de um sistema de iluminação diminui gradativamente durante o seu uso, devido, entre outros, a fatores como acúmulo de poeira nas lâmpadas e/ou luminárias e ao decréscimo do fluxo luminoso. A perda do rendimento vai depender do formato da luminária (aberta ou fechada e ângulo de inclinação), seu acabamento (superfícies polidas facilitam a limpeza), existência de difusores, grau de ventilação, frequência de manutenção e ao estado de limpeza do ambiente.

3.6.2 - LUMINÁRIAS MAIS EFICIENTES

A preocupação com a conservação de energia tem propiciado o surgimento de novos produtos, mais eficientes e econômicos, que aproveitam a luz de forma mais racional. Desta forma, as luminárias evoluíram a partir dos tradicionais materiais de aço pintados com tinta branca até chegar àquelas conhecidas por luminárias reflexivas. A grande vantagem destas frente às convencionais decorre do fato delas refletirem a luz de forma especular. Assim, enquanto as convencionais em chapa de aço esmaltada apresentam uma reflexão predominantemente difusa, a nova luminária caracteriza-se pela reflexão especular. Conseqüentemente é possível, prevendo-se a direção do raio refletido a partir do raio incidente, orientar de maneira precisa o fecho luminoso e obter formas específicas de CDL.

Com a utilização de luminárias reflexivas pode se diminuir a potência instalada reduzindo-se a quantidade de lâmpadas, pois estas conduzem a um melhor rendimento luminoso. Esta luminária pode ser fabricada em chapa de alumínio polido e anodizado, ou então, aplicando-se à chapa metálica filmes plásticos com deposição de metais reflexivos em um dos lados (geralmente tintas reflexivas auto-adesivas). O processo de polimento transfere ao material a refletância especular, enquanto a anodização procura fornecer uma proteção para a superfície, conservando-a durante a sua utilização. Esta última etapa se reveste de cuidados especiais dificultando o processo e, conseqüentemente, tornando mais caro o produto final de

boa qualidade. Materiais de baixa qualidade apresentam desde defeitos de homogeneização até o aparecimento de manchas.

Uma opção a estas dificuldades no processo de fabricação é o emprego do vidro espelhado como elemento refletor em substituição ao alumínio anodizado. O preço superior da matéria prima vidro espelhado em relação ao alumínio é compensado, em parte, no processo de fabricação. Após a colagem do vidro na luminária, obtém-se um produto de maior eficiência (vide Tabela 3.6) com custo quase equivalente a outros tipos de luminárias reflexivas. Porém, tem-se na fixação dos espelhos, uma etapa do processo de fabricação que poderá comprometer a qualidade do produto.

A forma e as dimensões do refletor em relação à lâmpada podem alterar a CDL tornando um projeto de iluminação mais eficiente e racional. Como exemplo temos os refletores parabólicos de alto rendimento, em alumínio anodizado de alto brilho com reflexão especular. Estes refletores são eficientes sob o ponto de vista energético e atendem a requisitos de conforto visual, eliminando brilho e ofuscamento, com a utilização de aletas transversais parabólicas.

Tabela 3.6 - Estudo comparativo de luminárias. - *Fonte: [15]*

LÂMPADA	TIPO DE REFLETOR	RENDIMENTO (%)	EFICIÊNCIA (lm/w)	Redução Consumo de Energia (%)
2 x 40 W	Aço pintado com tinta branca	58.0	42.0	0.0
2 x 32 W	Aço pintado com tinta branca	60.0	51.6	0.0
2 x 40 W	Alumínio polido e anodizado	75.0	55.4	23.6
2 x 32 W	Alumínio polido e anodizado	76.4	64.5	33.0
2 x 40 W	Vidro espelhado	86.0	63.0	33.0
2 x 32 W	Vidro espelhado	87.0	77.0	46.0

No Capítulo 4 são apresentadas medições realizadas em laboratório de algumas lâmpadas fluorescentes compactas e circulares com reator eletrônico e eletromagnético. E também os resultados do programa de incentivo da CPFL para substituir lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas e circulares em consumidores residenciais.

CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DE CASOS

4.1 - INTRODUÇÃO

Em condições ditas ideais, os sistemas elétricos possuem formas de onda da tensão e da corrente puramente senoidais. Estas ondas se repetem em uma determinada frequência, a qual é denominada de frequência fundamental, sendo que no Brasil é padronizada em 60 Hz.

Em um sistema que possui cargas não lineares, surgirão ondas de tensões e correntes com frequências múltiplas da fundamental, sendo denominados de componentes harmônicos. A decomposição de uma onda distorcida em várias ondas senoidais de frequências múltiplas da fundamental pode ser feita através da Série Trigonométrica de Fourier.

A forma senoidal da tensão é um critério essencial de qualidade da Energia Elétrica. Levantamentos efetuados recentemente [27], [28], [29] tem demonstrado um aumento considerável na rede elétrica das cargas que distorcem as formas de onda da tensão e corrente. No setor doméstico as principais fontes de harmônicos são: televisores, fornos de microondas, lâmpadas fluorescentes eletrônicas e computadores. No setor industrial, a crescente complexidade e modernização dos sistemas e processos industriais exige cada vez mais o uso de equipamentos com base na eletrônica de potência, tais como: conversores, pontes retificadoras e inversoras, fornos a arco e máquinas de solda.

Neste capítulo são apresentadas medições realizadas em laboratório de algumas lâmpadas contendo níveis de iluminâncias, harmônicos e consumo de energia. Apresenta-se também resultados de um caso prático da CPFL de substituição de lâmpadas incandescentes.

4.2 - EFEITO DOS HARMÔNICOS

São vários os problemas causados por harmônicos de tensão e corrente nos sistemas e equipamentos elétricos [30], resumidamente tem-se:

- Nos sistemas elétricos, mesmo com níveis reduzidos de harmônicos tem-se quedas de tensão significativas, ficando distorcidas e / ou desbalanceadas;
- Sistemas que contenham harmônicos de corrente podem induzir harmônicos de tensão em sistemas telefônicos, provocando ruídos;

- Distorção de tensão nos sistemas de alimentação dos conversores, interfere nos circuitos de disparo e controle;
- Nas máquinas rotativas resultam no aumento de perdas nos enrolamentos;
- Transformadores na presença de harmônicos aumentam as perdas por histerese e correntes parasitas, além de ampliar os esforços na isolação;
- Os controladores de demanda com eletrônica digital, são susceptíveis a má operação;
- Nos relés de proteção podem alterar as características de operação;
- Nos medidores de energia a disco de indução, resulta em medições com erros.

4.3 - LEGISLAÇÃO

A proliferação de equipamentos causadores de perturbação e a preocupação crescente sobre os seus efeitos, proporcionaram a necessidade dos governos estabelecerem critérios e procedimentos que limitem os harmônicos a níveis aceitáveis, procurando-se estabelecer uma convivência adequada entre equipamentos perturbadores e equipamentos sensíveis aos harmônicos. Embora o assunto não esteja ainda devidamente normalizado no Brasil, as concessionárias de energia elétrica costumam estabelecer limites nas perturbações que as cargas dos consumidores poderão provocar em seus sistemas elétricos.

O fator de distorção devido aos harmônicos de tensão e corrente servem como indicativos da presença de harmônicos em um sistema elétrico, e são definidos para fins de análise de um sistema elétrico de acordo com as expressões apresentadas a seguir:

$$FD_u \% = \sqrt{\sum_{h=2}^{nm} \left[\frac{U_h}{U_1} \right]^2} \cdot 100 \quad (4.1)$$

$$FD_{uh} \% = \frac{U_h}{U_1} \cdot 100 \quad (4.2)$$

$$FD_i \% = \sqrt{\sum_{h=2}^{nm} \left[\frac{I_h}{I_1} \right]^2} \cdot 100 \quad (4.3)$$

$$FD_{ih} \% = \frac{I_h}{I_1} \cdot 100 \quad (4.4)$$

onde: FD_u % - Fator de distorção harmônica total da onda de tensão

FD_{uh} % - Fator de distorção harmônica individual da onda de tensão

FD_i % - Fator de distorção harmônica total da onda de corrente

FD_{ih} % - Fator de distorção harmônica individual da onda de corrente

h - Ordem do harmônico ($h = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, \dots$)

nm - Máxima ordem do harmônico simulado/medido ($nm = 50$)

U_1 - Valor eficaz da tensão na frequência fundamental (fase-terra) (V)

U_h - Valor eficaz do harmônico de tensão de ordem h (fase-terra) (V)

I_h - Valor eficaz do harmônico de corrente de ordem h (A)

I_1 - Valor eficaz da corrente na componente fundamental (A)

4.4 - RECOMENDAÇÕES

Aqui serão apresentadas as tabelas das recomendações do IEEE [31] e a brasileira [32] e também a norma do IEC [33] sobre os limites das distorções devido aos harmônicos.

4.4.1 - RECOMENDAÇÃO DO IEEE STD 519-1992

Tabela 4.1 - Limite da distorção da tensão.

U_{REDE} [kV]	FD_{uh} (%)	FD_u (%)
≤ 69.00	3,0	5,0
69.01 - 161.00	1,5	2,5
≥ 161.01	1,0	1,5

Tabela 4.2 - Limite de distorção de corrente para sistema de 120 V até 69 kV.

DISTORÇÃO DO HARMÔNICO DE CORRENTE MÁXIMA EM PERCENTAGEM DE I_L						
I_{sc} / I_L	ORDEM HARMÔNICA INDIVIDUAL					FD_i (%)
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
$20 < 50$	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
$50 < 100$	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
$100 < 1000$	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

onde: I_{sc} = Corrente de curto-circuito do ponto de acoplamento entre o consumidor e a concessionária

I_L = Demanda máxima de corrente da carga para o ponto de acoplamento comum

Tabela 4.3 - Limite de distorção de corrente para sistema de 69 kV até 161 kV.

DISTRORÇÃO DO HARMÔNICO DE CORRENTE MÁXIMA EM PERCENTAGEM DE I_L						
ORDEM HARMÔNICA INDIVIDUAL						
I_{sc} / I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	FD_i (%)
< 20	2.00	1.00	0.75	0.30	0.15	2.50
20 < 50	3.50	1.75	1.25	0.50	0.25	4.00
50 < 100	5.00	2.25	2.00	0.75	0.35	6.00
100 < 1.000	6.00	2.75	2.50	1.00	0.50	7.50
> 1.000	7.50	3.50	3.00	1.25	0.70	10.00

4.4.2 - RECOMENDAÇÃO BRASILEIRA

Tabela 4.4 - Limites globais de tensão em porcentagem da tensão fundamental.

Urede < 69 kV				Urede > 69 kV			
Ímpares		Pares		Ímpares		Pares	
Ordem	FD_{uh} (%)	Ordem	FD_{uh} (%)	Ordem	FD_{uh} (%)	Ordem	FD_{uh} (%)
3, 5, 7	5.0	2, 4, 6	2.0	3, 5, 7	2.0	2, 4, 6	1.0
9, 11, 13	3.0			9, 11, 13	1.5		
15 a 25	2.0	≥ 8	1.0	15 a 25	1.0	≥ 8	0,5
≥ 27	1.0			≥ 27	0,5		
$FD_u = 6.0\%$				$FD_u = 3.0\%$			

Tabela 4.5 - Limites de tensão por consumidor em porcentagem da tensão fundamental.

Urede < 69 kV				Urede > 69 kV			
Ímpares		Pares		Ímpares		Pares	
Ordem	FD_{uh} (%)	Ordem	FD_{uh} (%)	Ordem	FD_{uh} (%)	Ordem	FD_{uh} (%)
3 a 25	1,5	Todos	0,5	3 a 25	0,6	Todos	0,3
≥ 27	0,7			≥ 27	0,4		
$FD_u = 3.0\%$				$FD_u = 1.5\%$			

4.4.3 - NORMA INTERNACIONAL IEC 1000 - 2 - 2

Tabela 4.6 - Níveis de tensão harmônica individual em redes de baixa tensão

Harmônicos ímpares não múltiplos de 3		Harmônicos ímpares múltiplos de 3		Harmônicos pares	
Ordem do harmônico n	Harmônico de tensão %	Ordem do harmônico n	Harmônico de tensão %	Ordem do harmônico n	Harmônico de tensão %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	> 21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			> 12	0,2
25	1,5				
> 25	$0,2+0,5*25/n$				

4.5 - LÂMPADAS ELETRÔNICAS

Como citado anteriormente, com o desenvolvimento de equipamentos surgiram sistemas de iluminação controlados eletronicamente. Estes sistemas oferecem vantagens como menor consumo de energia elétrica e maior eficiência lúmens por Watt.

Para o sistema elétrico, por se tratar de cargas não lineares, estes equipamentos geram problemas de qualidade elétrica, pois estes, reduzem o fator de potência e produzem harmônicos de tensão e corrente [34], [35], que poderá ser observado mais adiante nos ensaios realizados em laboratório. Os harmônicos gerados pelas lâmpadas podem provocar possíveis ressonâncias entre cargas indutivas e capacitivas, resultando em sobretensão; poderá interferir em linhas de comunicação próximas aos condutores de potência e também há um aumento na corrente de neutro em sistemas trifásicos provocando aumento das perdas e aquecimento no condutor.

4.5.1 - DEPRECIAÇÃO DO FLUXO LUMINOSO

A iluminância resultante de uma instalação de iluminação em qualquer ambiente diminui progressivamente durante o seu uso, devido ao acúmulo de poeira nas lâmpadas e luminárias e ao decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas, sendo que em lâmpadas fluorescentes pode chegar a 10% durante as 100 primeiras horas de funcionamento [10]. O projeto da instalação deverá incluir a possível depreciação de luz, proporcionando inicialmente uma iluminância maior do que a desejada.

Os valores das iluminâncias iniciais praticamente poderão novamente ser obtidas através de uma limpeza e substituição regular das lâmpadas (Figura 2.7 - página 06). Sem esta manutenção tem-se as seguintes conseqüências:

- As iluminâncias poderão ser substancialmente inferiores às exigidas;
- Desconforto visual aos usuários;
- Uma aparência pobre da instalação de iluminação.

4.5.2 - CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DAS LÂMPADAS

Comparada com as lâmpadas incandescentes, as lâmpadas fluorescentes tem vida média extremamente longa, mas a forma da curva de expectativa de vida são similares como mostrado na Figura 4.1. Devido às pequenas variações na fabricação e nos materiais da lâmpada, é impossível esperar que cada lâmpada tenha exatamente a mesma longevidade para a qual ela foi projetada. Por esta razão, a vida da lâmpada é calculada pela média de um grande grupo de lâmpadas, funcionando sob condições controladas de laboratório.

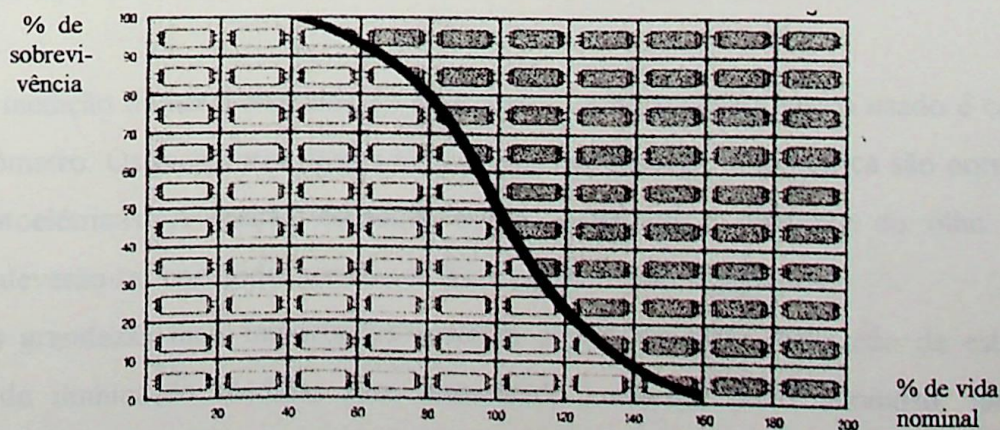


Figura 4.2 - Curva típica de mortalidade de lâmpadas fluorescentes. - Fonte: [10]

A média de vida calculada é o ponto no qual aproximadamente 50% das lâmpadas permanecem funcionando, como mostra a curva da Figura 4.1. Durante o ciclo de partida e no período de funcionamento de uma lâmpada fluorescente o material emissivo é gradualmente desprendido dos filamentos. O fim normal de vida é alcançado quando o material emissivo que permaneceu em um dos filamentos é insuficiente para dar partida e sustentação ao arco.

Como os dados de vida média publicados são geralmente baseados em um ciclo de 3 horas de funcionamento por 20 minutos apagada, eles refletem os efeitos de partida e da operação. Conseqüentemente, quaisquer mudanças nas horas de funcionamento por ciclo afetarão a vida média em serviço. Ciclos de funcionamento mais curtos (partidas mais freqüentes) encurtam a vida e os ciclos de funcionamento mais longos (partidas menos freqüentes) aumentam a vida. A Tabela 4.7 (Fonte: [10]) relaciona a média de vida em horas das lâmpadas fluorescentes em vários ciclos de funcionamento.

Tabela 4.7 - Vida média de lâmpadas fluorescentes por ciclos de funcionamento.

TIPO DE LÂMPADA	HORAS POR PARTIDA					
	3	6	10	12	18	CONTÍNUA
Alto Fluxo Luminoso	12.000	14.000	17.000	18.000	20.000	22.500
Muito Alto Fluxo Lumin.	10.000	12.500	14.990	15.980	17.980	24.980
32 W Econômica	12.000	14.000	17.000	18.000	20.000	22.500
40 W Universal	12.000	14.000	17.000	18.000	20.000	22.500
40 W Convencional	9.000	10.500	12.750	13.500	15.000	16.875
40 W Partida Rápida	15.000	17.500	21.250	22.500	25.000	28.125

4.5.3- MEDIÇÕES

A medição de luz é chamada de fotometria e o instrumento básico usado é conhecido como fotômetro. Os receptores desses instrumentos de medição fotométrica são normalmente células fotoelétricas. A reação espectral desses receptores é diferente do olho humano; portanto, deverão ser corrigidos usando-se filtros de correção adequados.

As grandezas mais importantes a serem observadas para realização de estudos em sistemas de iluminação medidas são: intensidade luminosa, fluxo luminoso, luminância, iluminamento, distribuição espectral e vida média.

4.6 - ANÁLISE DAS LÂMPADAS

Utilizando um instrumento digital desenvolvido por um pesquisador da EFEI [36] descrito abaixo, foram realizadas medições de harmônicos de corrente e tensão e também grandezas elétricas cujos resultados encontra-se apresentados no item 4.6.2.

4.6.1- DESCRIÇÃO DO APARELHO

No aparelho utilizado tem-se a possibilidade de medição das seguintes grandezas elétricas:

- Tensões U_{an} , U_{bn} , U_{cn} .
- Correntes I_a , I_b , I_c .
- Fator de potência das fases A, B, C.
- Potências ativa, reativa e aparente das fases A, B, C.
- Espectro harmônico das tensões U_{an} , U_{bn} , U_{cn} até a ordem 32.
- Espectro harmônico das correntes I_a , I_b , I_c até a ordem 32.
- Demanda, kWh, e kVARh.

Estas grandezas são enviadas para um computador, através de um sistema de aquisição de dados, onde um programa, fornecido junto com o instrumento, faz todo o controle e armazenamento das grandezas elétricas.

Este programa controla o instrumento mostrando e armazenando para o operador todas as grandezas elétricas, espectros harmônicos e formas de onda.

A análise das medições efetuadas pode ser feita através do próprio programa ou os arquivos podem ser exportados para uma planilha do tipo EXCEL.

O instrumento possui 3 entradas de tensão para valores máximos de até 350 V fase-neutro e 3 entradas de corrente para valores máximos de até 5 A, possuindo uma precisão de 0,5 % para as leituras das grandezas elétricas.

4.6.2 - RESULTADOS DO ENSAIO EM LABORATÓRIO

Com o instrumento descrito anteriormente foram realizados ensaios em lâmpadas fluorescentes do tipo compactas, circulares e tubulares com reatores eletrônicos e eletromagnéticos. Estes ensaios foram realizados com a tensão nominal, sobretensão de 10 % da tensão nominal e subtensão de 10 % da tensão nominal. As lâmpadas analisadas estão apresentadas com os seguintes códigos:

- COMxx - Fluorescente compacta de potência xx, com reator eletromagnético.
- COExx - Fluorescente compacta de potência xx, com reator eletrônico.
- CIMxx - Fluorescente circular de potência xx, com reator eletromagnético.
- CIExx - Fluorescente circular de potência xx, com reator eletrônico.
- TMSRxx - Fluorescente tubular de potência xx, com reator eletromagnético simples de partida rápida.
- TMSCxx - Fluorescente tubular de potência xx, com reator eletromagnético simples de partida convencional.
- TMDRxx - Fluorescente tubular de potência xx, com reator eletromagnético duplo de partida rápida.
- TEDRxx - Fluorescente tubular de potência xx, com reator eletrônico duplo de partida rápida.

Os resultados contendo os espectros harmônicos de tensão e corrente de duas lâmpadas fluorescentes compactas de 18 W com reator eletromagnético e eletrônico (COM18 e COE18A), são apresentadas nas Tabelas 4.8 a 4.11 e nas Figuras 4.2 a 4.5. O resultado de todas as lâmpadas ensaiadas estão apresentadas no anexo A.

Nos gráficos das Figura 4.2 e 4.4 referente aos níveis harmônicos de corrente, verifica-se que a lâmpada fluorescente compacta com reator eletrônico apresenta valores bem superiores em relação à lâmpada com reator eletromagnético. Com relação aos níveis harmônicos de tensão (Figura 4.3 e 4.4) não se verifica variações significativas entre as lâmpadas analisadas.

Tabela 4.8 - Harmônicos de corrente da lâmpada COM18

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,344	0,04	0,002	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0	0
120v	0,265	0,031	0,003	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001	0	0	0	0
108v	0,206	0,027	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0	0,001	0	0	0

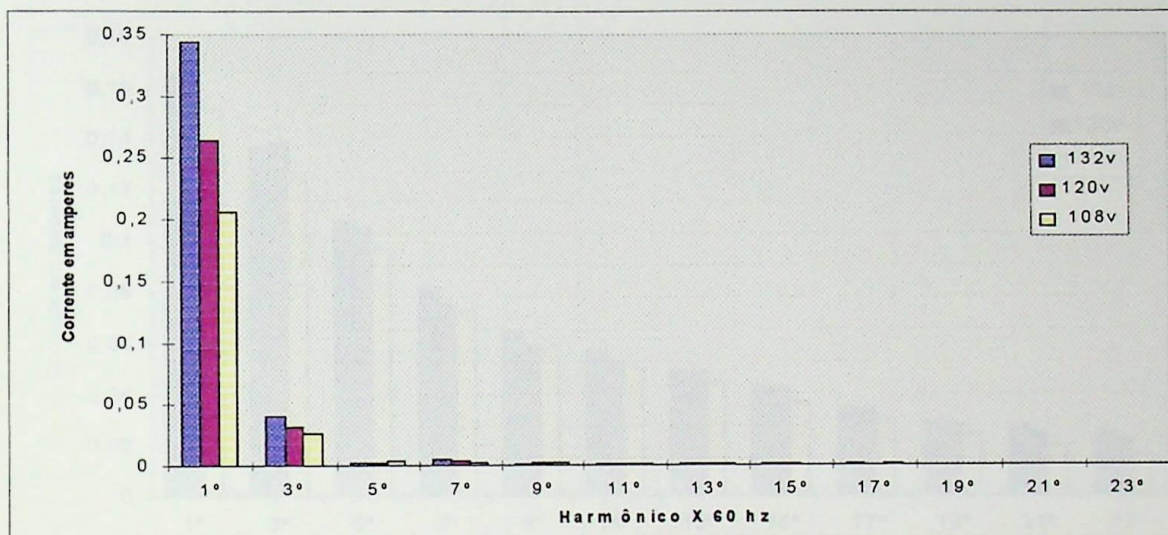


Figura 4.2 - Harmônicos de corrente da lâmpada COM18.

Tabela 4.9 - Harmônicos de tensão da lâmpada COM18

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	132,9	0,551	0,486	0,227	2,545	0	0,335	0	0	0	0	0
120v	120,8	0,67	0,249	0,24	2,436	0,178	0,35	0	0	0	0	0
108v	108,7	0,619	0,567	0,222	1,969	0	0,328	0	0	0	0	0

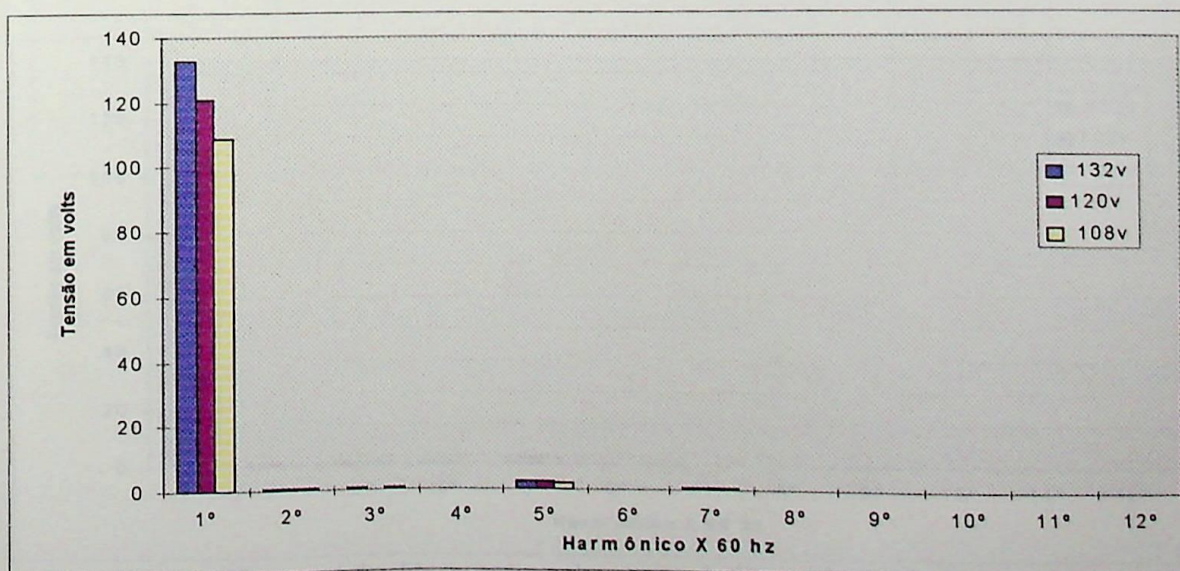


Figura 4.3 - Harmônicos de tensão da lâmpada COM18

Tabela 4.10 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE18A

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,165	0,137	0,108	0,083	0,064	0,057	0,05	0,043	0,035	0,03	0,028	0,025
120v	0,167	0,139	0,106	0,076	0,059	0,053	0,049	0,042	0,034	0,028	0,025	0,022
108v	0,152	0,124	0,097	0,073	0,059	0,051	0,044	0,037	0,03	0,024	0,02	0,016

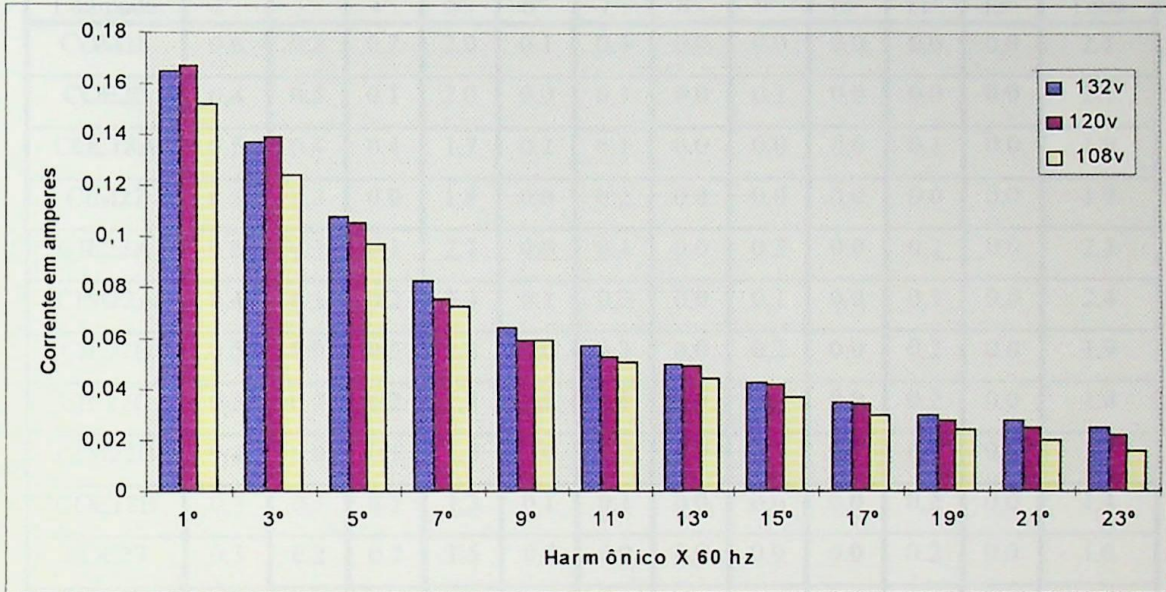


Figura 4.4 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE18A

Tabela 4.11 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE18A

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	133,4	0,625	0,405	0,291	2,243	0,196	0,228	0	0	0	0,138	0
120v	120,3	0,578	0,45	0,431	2,082	0,243	0,148	0	0	0	0,132	0
108v	108,9	0,51	0,436	0,246	1,974	0	0,158	0	0	0	0,189	0

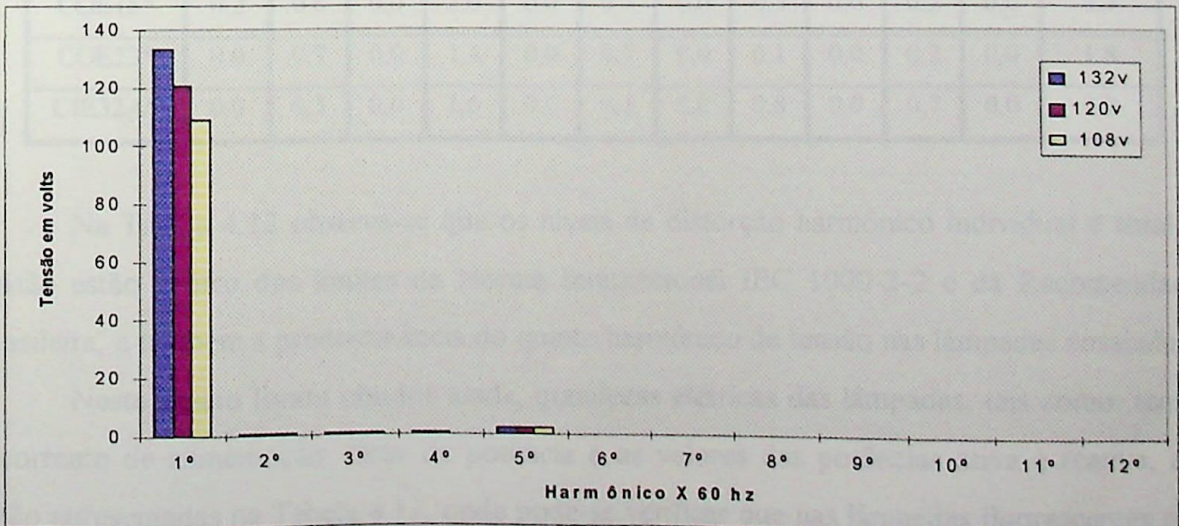


Figura 4.5 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE18A

A Tabela 4.12 apresenta valores calculados, em porcentagem, dos níveis de distorção harmônico de tensão individual e total das lâmpadas ensaiadas em laboratório.

Tabela 4.12 - Níveis de distorção harmônico individual e total de tensão.

Lâmpada	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	Total
COM18	0,6	0,2	0,2	2,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1
COE20	0,4	0,5	0,1	2,0	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,1
COE18A	0,5	0,4	0,4	1,7	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	1,9
CIM27	0,3	0,3	0,0	1,8	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9
CIE22A	0,6	0,3	0,1	2,1	0,0	0,4	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	2,3
CIM22A	0,4	0,1	0,2	2,4	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	2,4
CIE22B	0,5	0,0	0,2	1,8	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	1,9
CIE22C	0,5	0,3	0,2	1,7	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	1,8
CIM22B	0,4	0,0	0,1	1,8	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	1,9
COE18B	0,3	0,3	0,2	1,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,4
COE27	0,5	0,2	0,2	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,6
COE23	0,5	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,5
COE15	0,4	0,1	0,1	1,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6
CIE32A	0,4	0,8	0,2	0,6	0,0	0,9	0,1	0,6	0,0	0,4	0,0	1,6
CIE32B	0,4	0,6	0,1	1,2	0,0	0,5	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	1,5
TMSR20	0,2	0,4	0,0	1,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,1
TMSC20	0,0	0,4	0,0	1,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,4
TMDR40	0,5	0,3	0,2	1,7	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	1,8
TEDR32	0,2	0,4	0,0	1,3	0,0	0,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,5
COE27*	0,0	0,7	0,0	2,0	0,0	0,8	0,0	0,6	0,0	0,4	0,0	2,4
COE15*	0,2	0,6	0,0	2,0	0,0	0,7	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	2,3
COE23*	0,0	0,7	0,0	1,4	0,0	0,7	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	1,8
CIE32A*	0,0	0,5	0,0	1,6	0,0	0,3	0,0	0,8	0,0	0,7	0,0	2,0

Na Tabela 4.12 observa-se que os níveis de distorção harmônico individual e total de tensão estão dentro dos limites da Norma Internacional IEC 1000-2-2 e da Recomendação Brasileira, e também a predominância do quinto harmônico de tensão nas lâmpadas ensaiadas.

Neste ensaio foram obtidos ainda, grandezas elétricas das lâmpadas, tais como: tensão e corrente de alimentação, fator de potência e os valores das potências ativa e reativa, que estão apresentadas na Tabela 4.13, onde pode-se verificar que nas lâmpadas fluorescentes com

reator eletrônico, a potência reativa é do tipo capacitiva e indutiva nas lâmpadas com reator eletromagnético.

Tabela 4.13 - Grandezas elétricas das lâmpadas ensaiadas

Lâmpada	Tensão [V]	Corrente [A]	Fator de potência	Pativa [W]	Preativa [VAr]
COM18	121,35	0,27	0,51	16,91	28,40
COE20	121,59	0,19	0,85	19,37	-1,20
COE18A	120,43	0,28	0,52	17,46	-9,80
CIM27	121,09	0,42	0,51	26,22	43,50
CIE22A	121,16	0,20	0,92	22,53	-4,80
CIM22A	120,55	0,31	0,54	20,17	31,40
CIE22B	127,67	0,21	0,91	24,01	-5,30
CIE22C	127,90	0,34	0,54	23,48	-7,90
CIM22B	128,40	0,31	0,54	21,45	32,70
COE18B	121,02	0,29	0,52	18,14	-10,40
COE27	117,86	0,42	0,52	25,58	-12,80
COE23	120,60	0,32	0,58	22,73	-11,80
COE15	120,45	0,24	0,55	16,24	-7,00
CIE32A	127,18	0,49	0,52	32,57	-4,40
CIE32B	126,90	0,31	0,92	36,01	-4,90
TMSR20	120,10	0,74	0,41	36,20	80,70
TMSC20	118,32	0,32	0,57	21,26	30,20
TMDR40	220,02	0,43	0,96	91,17	-6,81
TEDR32	220,19	0,32	0,96	68,57	-13,41
COE27*	120,53	0,45	0,52	27,85	-10,44
COE15*	119,54	0,27	0,56	17,62	-5,49
COE23*	120,21	0,33	0,60	23,56	-9,62
CIE32A*	126,71	0,53	0,50	33,40	-3,29

* Lâmpadas com 2.000 horas de acendimento

Terminada esta fase de medições, foram realizados outras medições [37] para comparação de iluminância entre as lâmpadas, sendo que as Figuras 4.6 e 4.7 mostram as dimensões físicas do ambiente onde foram realizadas os ensaios e a Tabela 4.14, os resultados das medições obtidas com os luxímetros lux1 e lux2.

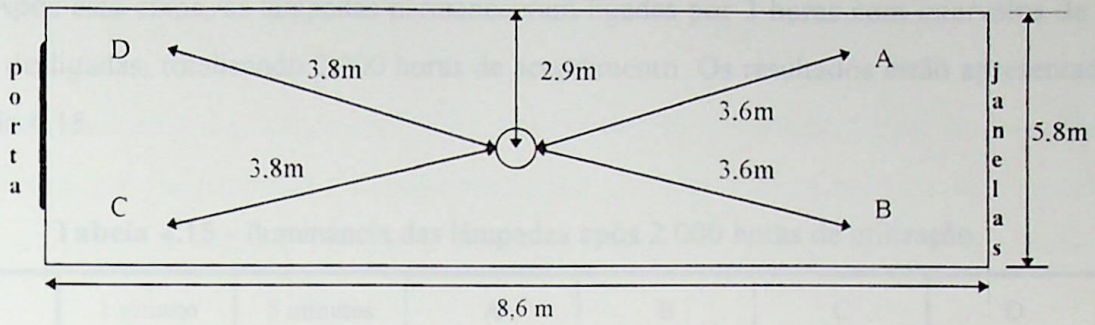


Figura 4.6 - Dimensões da sala utilizada para a medição do fluxo luminoso

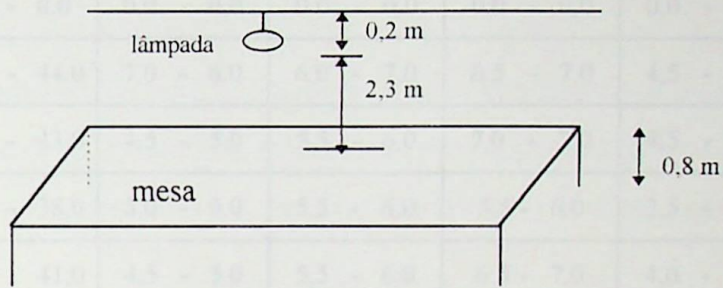


Figura 4.7 - Altura do plano de medição à lâmpada

Tabela 4.14 - Iluminância das lâmpadas ensaiadas

	1 minuto	5 minutos	A	B	C	D
	lux1 - lux2	lux1 - lux2	lux1 - lux2	lux1 - lux2	lux1 - lux2	lux1 - lux2
(1)*	0,0 - 0,0	0,0 - 0,0	0,0 - 0,0	0,0 - 0,0	0,0 - 0,0	0,0 - 0,0
CIE22B	43,0 - 42,0	51,5 - 49,0	6,2 - 8,0	6,3 - 7,0	6,5 - 7,0	5,7 - 6,0
CIE 22A	48,0 - 47,0	60,0 - 59,0	6,7 - 7,0	7,6 - 8,0	7,5 - 8,0	5,5 - 6,0
CIM22A	38,0 - 38,0	44,5 - 45,0	5,3 - 6,0	5,9 - 6,0	5,4 - 6,0	3,5 - 4,0
CIE22C	39,8 - 39,0	50,5 - 51,0	4,9 - 6,0	6,0 - 7,0	5,3 - 6,0	4,3 - 5,0
COM18	17,5 - 17,0	20,8 - 20,0	3,8 - 4,0	4,4 - 5,0	4,5 - 5,0	3,5 - 3,0
CIE32A	63,0 - 64,0	73,5 - 75,0	7,3 - 8,0	9,2 - 10,0	9,1 - 10,0	7,0 - 8,0
CIE32B	63,0 - 64,0	74,0 - 75,0	8,2 - 9,0	9,0 - 10,0	8,3 - 9,0	6,2 - 7,0
COM13	13,2 - 14,0	15,2 - 16,0	3,1 - 4,0	3,6 - 4,0	3,7 - 4,0	2,7 - 3,0
COE18	18,2 - 19,0	27,0 - 27,0	5,0 - 6,0	5,8 - 6,0	5,7 - 6,0	4,7 - 5,0
COE20	21,2 - 21,0	28,5 - 28,0	5,6 - 6,0	6,5 - 7,0	6,6 - 7,0	5,5 - 6,0
CIM27	36,5 - 35,0	43,0 - 41,0	4,7 - 5,0	5,5 - 6,0	4,9 - 6,0	3,8 - 4,0
COE15	18,7 - 19,0	26,0 - 26,0	3,9 - 5,0	5,3 - 6,0	4,5 - 5,0	4,2 - 5,0
COE23	25,5 - 25,0	38,2 - 37,0	8,3 - 9,0	8,7 - 9,0	8,5 - 9,0	6,6 - 7,0
CIM22B	31,5 - 33,0	37,8 - 39,0	3,7 - 4,0	3,8 - 4,0	4,2 - 5,0	3,3 - 4,0
COE27	27,2 - 27,0	28,5 - 29,0	6,5 - 7,0	7,3 - 8,0	7,3 - 8,0	6,0 - 7,0

(1)* Medição realizada em 12/06/96 à 18 hs, sem a lâmpada acesa, somente com a luz natural.

Após esta etapa, as lâmpadas permaneceram ligadas por 3 horas com intervalos de 15 minutos desligadas, totalizando 2.000 horas de acendimento. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Iluminância das lâmpadas após 2.000 horas de utilização

	1 minuto	5 minutos	A	B	C	D
	lux1 - lux2	lux1 - lux2	lux1 - lux2	lux1 - lux2	lux1 - lux2	lux1 - lux2
(2)*	0.0 - 0.0	0.0 - 0.0	0.0 - 0.0	0.0 - 0.0	0.0 - 0.0	0.0 - 0.0
CIE22B	41.0 - 42.0	43.5 - 44.0	7.0 - 6.0	6.0 - 7.0	6.5 - 7.0	4.5 - 5.0
CIE 22A	41.0 - 40.0	44.0 - 43.0	4.5 - 5.0	5.5 - 6.0	7.0 - 7.0	4.5 - 5.0
CIM22A	37.0 - 37.0	38.5 - 38.0	5.0 - 5.0	5.5 - 6.0	5.5 - 6.0	3.5 - 4.0
CIE22C	38.0 - 38.0	41.0 - 41.0	4.5 - 5.0	5.5 - 6.0	6.5 - 7.0	4.0 - 4.0
COM18	15.0 - 15.0	16.5 - 16.0	3.5 - 4.0	4.0 - 4.0	4.0 - 5.0	2.5 - 3.0
CIE32A	57.0 - 58.0	60.0 - 60.0	7.5 - 8.0	9.0 - 10.0	8.5 - 9.0	6.0 - 6.0
CIE32B	48.5 - 49.0	52.5 - 53.0	6.5 - 7.0	6.5 - 7.0	8.0 - 9.0	5.5 - 6.0
COM13	13.0 - 13.0	14.5 - 14.0	3.5 - 4.0	4.0 - 4.0	4.0 - 5.0	3.0 - 3.0
COE18	17.5 - 18.0	18.5 - 19.0	5.0 - 5.0	5.5 - 6.0	5.5 - 6.0	3.5 - 4.0
COE20	23.0 - 22.0	25.5 - 25.0	6.5 - 7.0	7.0 - 8.0	7.0 - 8.0	5.0 - 5.0
CIM27	31.0 - 30.0	33.5 - 32.0	4.5 - 4.0	4.5 - 5.0	4.5 - 5.0	3.0 - 3.0
COE15	16.0 - 16.0	18.0 - 18.0	4.0 - 5.0	4.0 - 4.0	4.5 - 6.0	3.0 - 4.0
COE23	27.0 - 27.0	31.0 - 33.0	8.0 - 9.0	8.0 - 9.0	8.5 - 10.0	6.0 - 6.0
CIM22B	30.0 - 31.0	34.0 - 35.0	4.0 - 4.0	4.0 - 5.0	5.0 - 6.0	3.0 - 4.0
COE27	22.5 - 22.0	24.5 - 24.0	6.5 - 7.0	6.5 - 7.0	8.0 - 9.0	5.0 - 5.0

(2)* Medição realizada em 06/12/96 à 20 hs, sem a lâmpada acesa, somente com a luz natural

Considerando a depreciação natural do fluxo luminoso das lâmpadas fluorescentes, verifica-se nas Tabelas 4.14 e 4.15, que a iluminância das lâmpadas analisadas após 2000 hs de funcionamento, estão dentro dos limites esperados (item 4.5.1).

4.6.3 - PROGRAMA DE INCENTIVO DA CPFL

Este programa implantado pela CPFL em cidades do interior do Estado de São Paulo, para substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas no segmento residencial, tem como objetivo verificar a diminuição da demanda de potência e o consumo de energia elétrica no horário de ponta do sistema elétrico.

Esta experiência de saturação de residências com lâmpadas busca avaliar as conseqüências da instalação concentrada de lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos incorporados de alto e baixo fator de potência.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram instalados equipamentos de medição nas residências e no transformador de distribuição responsável pelo suprimento destas cargas. Entre as grandezas medidas e analisadas tem-se o consumo de potência reativa, demanda de energia e o fator de potência.

Foram analisadas oito consumidores residenciais, totalizando 60 lâmpadas. O período de medição foi de:

15/02/95 a 07/03/95 para lâmpadas incandescentes,

07/04/95 a 01/05/95 para lâmpadas fluorescentes com reator de baixo fator de potência

03/05/95 a 18/06/95 para lâmpadas fluorescentes com reator de alto fator de potência.

A seguir tem-se nas Figuras 4.8 a 4.10 curvas de carga de um consumidor ao longo do dia, os valores foram obtidos através do preenchimento de um questionário de posse e hábitos de consumo de equipamentos elétricos. Nestas curvas estão separadas as cargas de iluminação, para verificar a influência das lâmpadas no comportamento da carga residencial total.

As Figuras 4.11 e 4.12 apresentam valores médios de demanda total de energia elétrica obtidos em planilhas do Excel, das medições realizadas com lâmpadas incandescentes e fluorescentes, com reatores de baixo e alto fator de potência. A Figura 4.13 apresenta a influência do tipo de reator utilizado pelas lâmpadas no fator de potência médio do transformador que alimenta estas residências.

Os resultados de todas as medições realizadas estão apresentadas no anexo B.

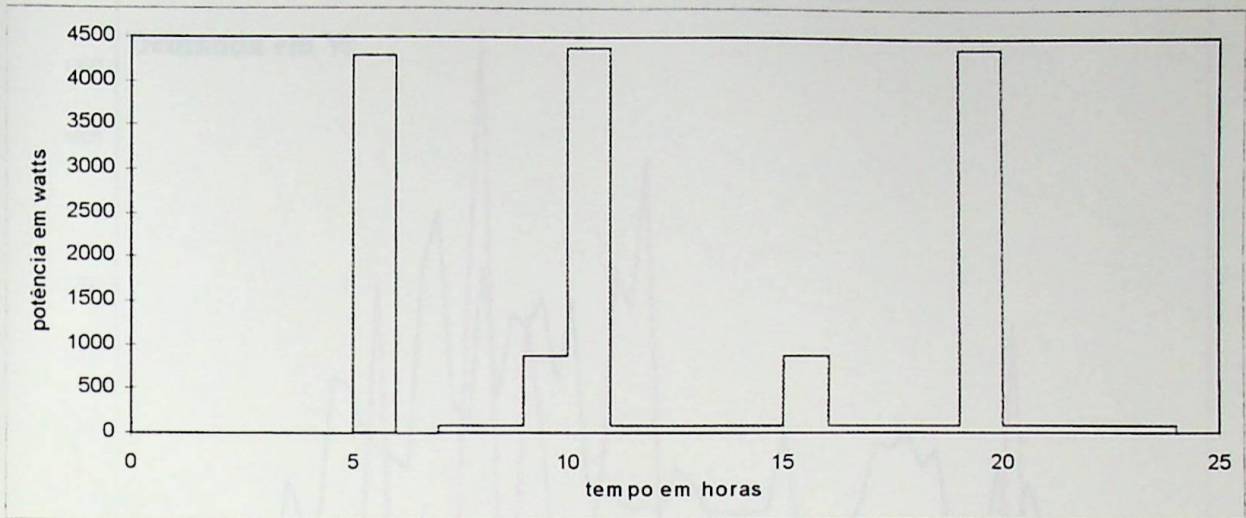


Figura 4.8 - Carga residencial de um consumidor ao longo do dia.

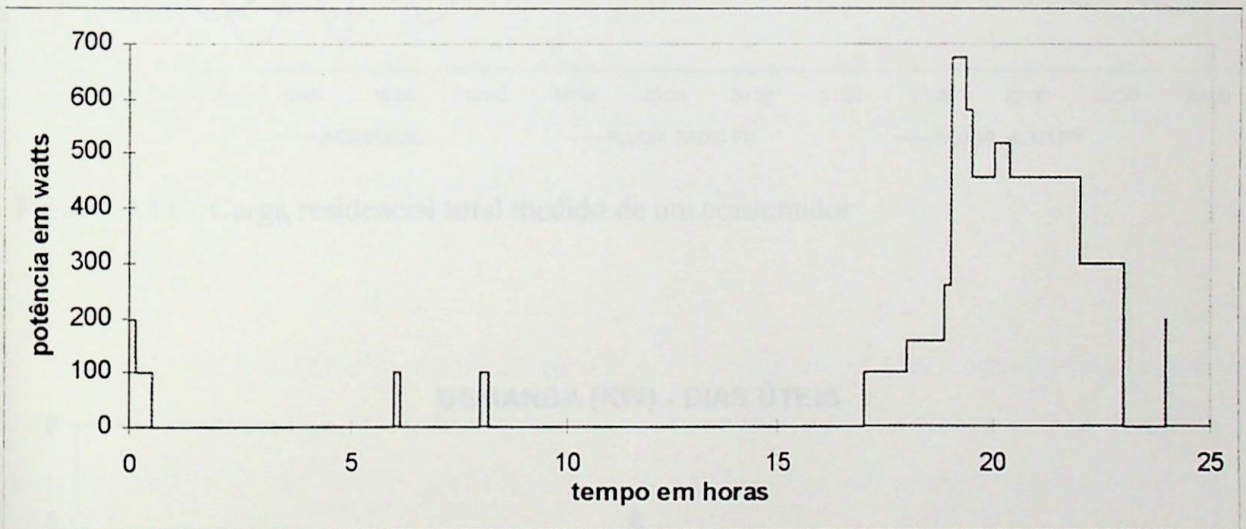


Figura 4.9 - Carga residencial de iluminação de um consumidor ao longo do dia.

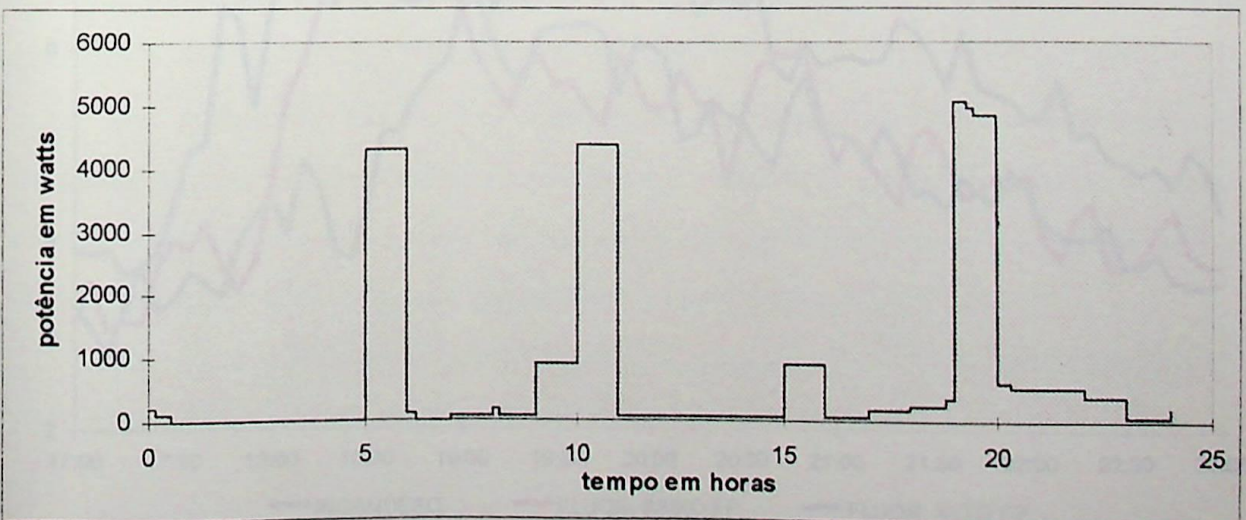


Figura 4.10 - Carga residencial total de um consumidor ao longo do dia.

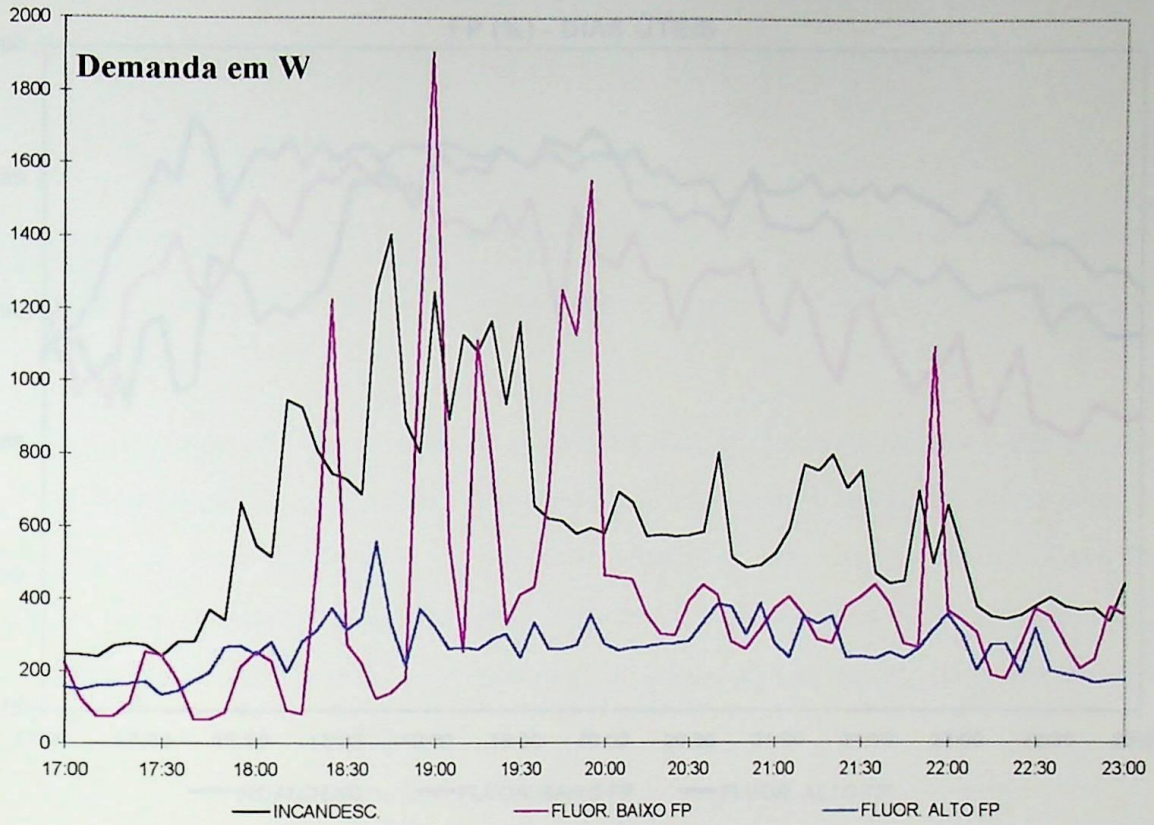


Figura 4.11 - Carga residencial total medido de um consumidor.

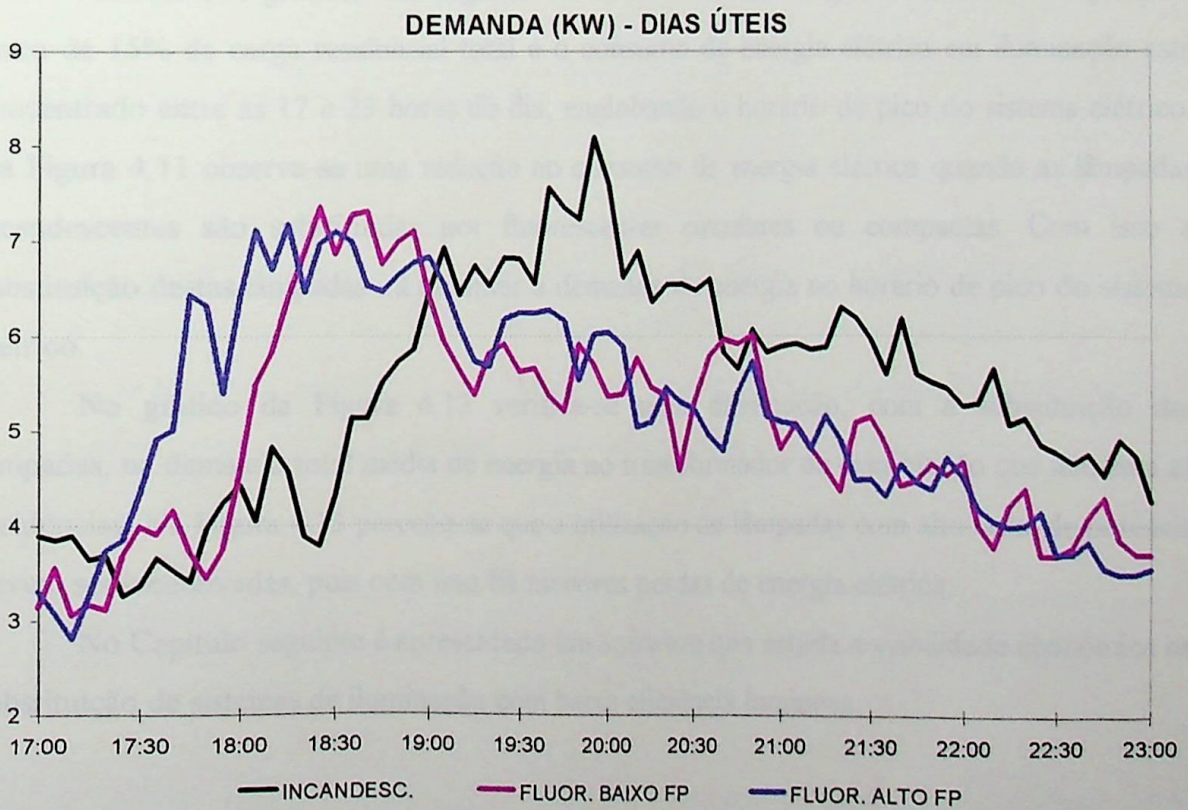


Figura 4.12 - Demanda média no transformador.

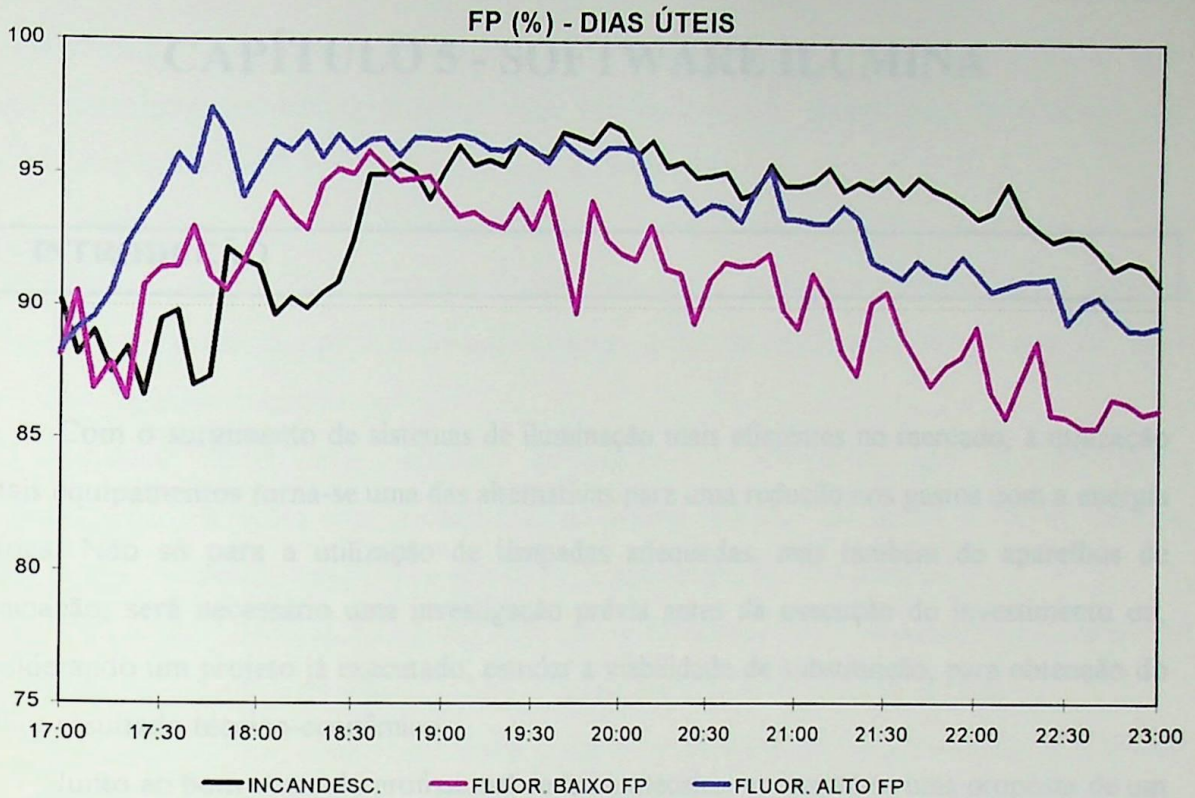


Figura 4.13 - Fator de potência médio no transformador.

Através dos gráficos das Figuras 4.8 a 4.10 verifica-se que a iluminação representa cerca de 15% da carga residencial total e o consumo de energia elétrica em iluminação está concentrado entre as 17 e 23 horas do dia, englobando o horário de pico do sistema elétrico. Da Figura 4.11 observa-se uma redução no consumo de energia elétrica quando as lâmpadas incandescentes são substituídas por fluorescentes circulares ou compactas. Com isso a substituição destas lâmpadas irá diminuir a demanda de energia no horário de pico do sistema elétrico.

No gráfico da Figura 4.12 verifica-se uma diminuição, com a substituição das lâmpadas, na demanda total média de energia no transformador de distribuição que alimenta as residências. Na Figura 4.13 percebe-se que a utilização de lâmpadas com alto fator de potência devem ser incentivadas, pois com isso há menores perdas de energia elétrica.

No Capítulo seguinte é apresentado um software que estuda a viabilidade econômica na substituição de sistemas de iluminação com baixa eficiência luminosa.

CAPÍTULO 5 - SOFTWARE ILUMINA

5.1 - INTRODUÇÃO

Com o surgimento de sistemas de iluminação mais eficientes no mercado, a utilização de tais equipamentos torna-se uma das alternativas para uma redução nos gastos com a energia elétrica. Não só para a utilização de lâmpadas adequadas, mas também de aparelhos de iluminação, será necessário uma investigação prévia antes da execução do investimento ou, considerando um projeto já executado, estudar a viabilidade de substituição, para obtenção do melhor resultado técnico-econômico.

Junto ao bom senso do profissional de luminotécnica, apresenta-se uma proposta de um software que ajudará a tornar prático o estudo de viabilidade econômica [38],[39],[40] baseado em critérios técnicos [8], [16], [41], [42], para execução ou substituição de um projeto luminotécnico residencial, comercial ou industrial.

5.2 - DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Todo projeto de iluminação deve basear-se nos requisitos de qualidade, como: conforto visual, cor e temperatura da luz, níveis de ofuscamento e de iluminância exigidos de acordo com o tipo de atividade realizado, sendo este último, o mais utilizado atualmente como base de cálculo luminotécnico, ficando os outros a cargo do bom senso e experiência do profissional.

5.3 - ANÁLISE TÉCNICA

A análise técnica do software no cálculo luminotécnico baseia-se no método dos lúmens para ambientes fechados com iluminação direta ou semi-direta. Os níveis de iluminância

mínimos exigidos seguem a norma NBR 5413 [41] para as várias atividades possíveis de serem executados num determinado ambiente. Uma vez fixado o local do ambiente de trabalho, deve-se escolher o tipo de lâmpada e luminária para a instalação.

Para cada tipo de lâmpada escolhida, associa-se uma variedade de luminárias com diferentes características. Para a escolha de lâmpadas e luminárias deve-se estar ciente das diferenças de potência, preço, eficiência luminosa, índice de reprodução de cor, vida útil, fator de utilização e manutenção.

Assim, existe uma variedade de aspectos a considerar, que se combinados corretamente, oferecem uma possibilidade de análise racional que levará à melhor decisão quanto aos critérios de qualidade e economia na iluminação de um ambiente.

As cores e texturas do material com que se revestem o teto, parede e piso do ambiente também influenciarão na análise devido aos diferentes índices de reflexão de cada um.

O índice de cavidade do ambiente, é um fator de avaliação das dimensões do ambiente (largura, comprimento e altura) que determinará valores de rendimento luminoso dos aparelhos de iluminação na medida em que ambientes muito altos, se comparados com a sua área total, tendem a ter boa parte da luz dispersada nas paredes.

Calcula-se o índice do ambiente por:

$$k = \frac{c \cdot l}{H \cdot (c + l)} \quad (5.1)$$

Sendo:

H = altura do plano de trabalho até a luminária (m)

c = comprimento do local (m)

l = largura do local (m)

Em função do índice do ambiente e dos coeficientes de reflexão das superfícies, obtêm-se valores tabelados de fatores de utilização (F_u) para cada tipo de luminária [42]. Tem-se ainda o fator de manutenção (F_m) [8], devido ao acúmulo de poeira nas lâmpadas e luminária, absorvendo parte da energia emitida pelas lâmpadas. A multiplicação dos dois fatores dá como resultado o rendimento da luminária.

$$\eta = F_u \cdot F_m \quad (5.2)$$

Obtém-se a quantidade de luminárias necessárias por:

$$Q = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot \phi_l} \quad (5.3)$$

$$\phi_l = n \cdot \phi_1 \quad (5.4)$$

Q = quantidade de luminárias necessária

E = iluminância exigida para o local (lux)

A = área do ambiente (m^2)

ϕ_l = fluxo luminoso total (lm)

ϕ_1 = fluxo luminoso de uma lâmpada (lm)

n = número de lâmpadas por luminária

η = rendimento da luminária

5.4 - ANÁLISE ECONÔMICA

Concluídos a análise técnica, passa-se à análise econômica, que consiste no cálculo do custo operacional anual e do custo total de investimento. O primeiro avalia os gastos anuais com energia elétrica e reposição de lâmpadas. E o outro avalia os gastos devido a aquisição de luminárias, lâmpadas, reatores, ignitores e mão de obra para a execução do projeto. No cálculo do custo operacional deve-se prever a utilização diária das lâmpadas, o número e a potência das lâmpadas e reatores, o preço da lâmpada e do kWh, a vida média.

$$P_t = (NR1 \cdot PotReat1 + NR2 \cdot PotReat2) \cdot Q + PotLam \cdot n \cdot Q \quad (5.5)$$

P_t = Potência total da instalação (W)

NR1 = número de reatores simples por luminária

PotReat1 = potência do reator simples (W)

NR2 = número de reator duplo por luminária

PotReat2 = potência do reator duplo (W)

Q = quantidade de luminárias

PotLam = potência da lâmpada (W)

n = número de lâmpadas por luminária

$$CE = 12 \cdot UD \cdot P_l / 1000 \cdot DM \cdot kwh \quad (5.6)$$

$$CE1 = 7.[Udp \cdot P_l / 1000 \cdot DM \cdot kwhps + Udfp \cdot P_l / 1000 \cdot DM \cdot kwhfps + P_l / 1000 \cdot kwps] + 5.[Udp \cdot P_l / 1000 \cdot DM \cdot kwhpu + Udfp \cdot P_l / 1000 \cdot DM \cdot kwhfpu + P_l / 1000 \cdot kwpu] \quad (5.6a)$$

CE = custo anual de energia (R\$)

CE1 = custo anual de energia para consumidor industrial (R\$)

DM = número de dias do mês em funcionamento

UD = utilização diária das lâmpadas (h)

UDp = utilização diária das lâmpadas no horário de ponta (h)

UDfp = utilização diária das lâmpadas no horário fora de ponta (h)

kwh = preço do kWh (R\$)

kwhps = preço do kWh no horário de ponta seca (R\$)

kwhpu = preço do kWh no horário de ponta úmida (R\$)

kwhfps = preço do kWh no horário fora de ponta seca (R\$)

kwhfpu = preço do kWh no horário fora de ponta úmida (R\$)

kwps = preço do kW no horário de ponta seca (R\$)

kwpu = preço do kW no horário fora de ponta úmida (R\$)

$$CRL = 12 \cdot (n \cdot Q \cdot UDL \cdot DM / VML) \cdot PreLam \quad (5.7)$$

CRL = custo anual de reposição de lâmpadas (R\$)

VML = vida média da lâmpada escolhida (h)

PreLam = preço da lâmpada escolhida (R\$)

$$COT = CE + CRL \quad (5.8)$$

COT = custo operacional total anual (R\$)

Para o cálculo do custo de investimento deve-se prever o preço da luminária escolhida, o número e preço do reator e da lâmpada escolhida, além do custo da mão de obra.

$$CLM = \text{PreLum} \cdot Q \quad (5.9)$$

CLM = custo total de luminárias (R\$)

PreLum = preço da luminária escolhida (R\$)

$$CR = (\text{NR1} \cdot \text{PreReat1} + \text{NR2} \cdot \text{PreReat2}) \cdot Q \quad (5.10)$$

CR = custo total de reatores (R\$)

PreReat1 = preço do reator simples (R\$)

PreReat2 = preço do reator duplo (R\$)

$$CL = \text{PreLam} \cdot n \cdot Q \quad (5.11)$$

CL = custo total das lâmpadas (R\$)

$$CMO = Q \cdot \text{Mobra} \quad (5.12)$$

CMO = Custo total de mão de obra (R\$)

Mobra = Custo da mão de obra para instalação de uma luminária (R\$)

$$TI = CL + CR + CLM + CMO \quad (5.13)$$

TI = total de investimentos (R\$)

Todos os cálculos técnicos e econômicos anteriores podem ser feitos para duas alternativas distintas e os resultados, comparados entre si, através de métodos de viabilidade econômica, descritos a seguir, para a obtenção da melhor alternativa.

5.4.1 - MÉTODO DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O método do valor presente líquido (VPL) caracteriza-se pela transferência para o instante presente de todas as variações de caixa esperadas, descontadas à taxa de atratividade. Admitindo-se um diagrama de fluxos de caixa genérico, conforme apresentado na Figura 5.1, o valor presente líquido poderá ser expresso por:

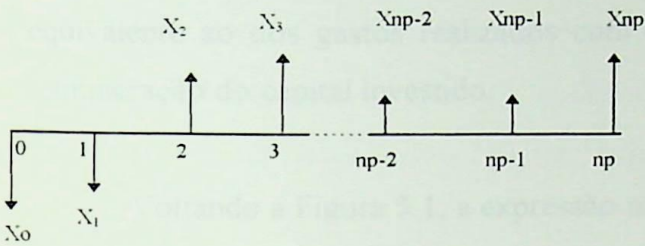


Figura 5.1 - Diagrama de fluxos de caixa para um projeto de investimento genérico.

$$P = \frac{X_0}{(1+i)^0} + \frac{X_1}{(1+i)^1} + \frac{X_2}{(1+i)^2} + \frac{X_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{X_{np-2}}{(1+i)^{np-2}} + \frac{X_{np-1}}{(1+i)^{np-1}} + \frac{X_{np}}{(1+i)^{np}} \quad (5.14)$$

Onde:

$$P = \sum_{j=0}^{np} \frac{X_j}{(1+i)^j} \quad (5.15)$$

Onde P representa o valor presente líquido de uma série x_j de recebimentos e desembolsos, descontados a uma taxa mínima de atratividade i , sendo o horizonte de planejamento do projeto igual a np períodos, para este caso temos:

$$P = [-TI_2 + TI_1 \cdot (1-Tu/10)] + (Cot_1 - Cot_2) \cdot \left\{ \frac{[(1+i)^{np} - 1]}{i \cdot (1+i)^{np}} \right\} \quad (5.16)$$

Onde: Tu representa o tempo de utilização do sistema 1 em anos
 np é o número de períodos pesquisado em anos

5.4.2 - MÉTODO DA TAXA INTERNA DE RETORNO

A taxa interna de retorno (TIR) de um projeto é a taxa de juros para a qual o valor presente das receitas torna-se igual ao dos desembolsos. Isto significa dizer que a taxa interna de retorno é aquela que torna nulo o valor presente do projeto.

Assim definido, a taxa interna de retorno é aquela que torna o valor dos lucros futuros equivalente ao dos gastos realizados com o projeto. Caracteriza-se desta forma, a taxa de remuneração do capital investido.

Voltando à Figura 5.1, a expressão matemática pode ser escrita como:

$$\sum_{j=0}^{np} \frac{x_j}{(1+ir)^j} = 0 \quad (5.17)$$

Onde ir representa a taxa interna de retorno de um projeto de investimento genérico.

É obtida através da interpolação linear do valor presente líquido, arbitrando taxas de atratividade.

5.4.3 - MÉTODO DO PRAZO DE AMORTIZAÇÃO

Este método consiste na determinação do número de períodos necessários para recuperar o capital investido, é dado por:

$$PA = \ln\{[TI_2 - TI_1 \cdot (1 - Tu/10)] / (COT_1 - COT_2)\} / [-\ln(1+i)] \quad (5.18)$$

Uma vez feito isso, o administrador decide sobre a aceitação do projeto com base em seus padrões de tempo para recuperação de investimentos.

5.5 - LEVANTAMENTO DE DADOS

Para a realização dos cálculos anteriores, foi preciso recolher uma coleção de dados referentes às lâmpadas, luminárias, reatores, ignitores e seus respectivos preços. Os últimos foram obtidos nas lojas localizadas na região de Itajubá - MG, os outros foram obtidos em catálogos dos fabricantes.

Foram levantados preços de vários tipos de lâmpadas e para todas as potências existentes nos locais pesquisados, os valores representam os tipos de lâmpadas mais utilizados.

Os valores de vida média e fluxo luminoso das lâmpadas foram obtidos analisando-se as tendências predominantes nos catálogos. A Tabela 5.1 apresenta alguns valores típicos destas lâmpadas.

A Tabela 5.2 apresenta os valores dos fatores de manutenção e utilização de algumas luminárias [42].

E finalmente a Tabela 5.3 mostra os valores mínimos, médios e máximos de iluminância exigidos para cada grupo de tarefa visual [41].

TIPO DE LÂMPADA	POTÊNCIA (W)	FLUXO LUMINOSO (lm)	VIDA MÉDIA (h)	COMENTÁRIOS
FLUORESCENTE CIRCULAR	22	271	12.000	Tubo de 40
	25	300		Tubo de 40
	30	3.200	12.000	Balasto tipo
VAPOR DE MERCÚRIO	75	6.000		E-35
	250	12.600	14.000	Balasto tipo
	400	25.000		E-40
VAPOR DE SÓDIO	50	1.200	16.000	Balasto tipo
	70	1.800		E-37
	150	14.000	24.000	Balasto tipo
LUMINÁRIA	250	21.000		E-35
	400	47.000		
	100	1.100		Balasto tipo
	250	5.200	8.000	E-37
	250	5.500		Balasto tipo
	300	11.500		E-40

Tabela 5.1 - Características das lâmpadas. - Fonte: [19], [20]

TIPO DE LÂMPADA	POTÊNCIA [W]	FLUXO LUMINOSO [lúmens]	VIDA MÉDIA [horas]	OBSERVAÇÃO
INCANDESCENTE	40	455	1.000	Acabamento Claro
	60	780		
	100	1.470		
	150	2.430		
	200	3.325		
	300	5.205		
	500	8.850		
	40	430	1.000	Acabamento Branco interno
	60	740		
	100	1.365		
36	390			
54	690			
90	1.290			
FLUORESCENTE TUBULAR	15	800	7.500	Partida convencional
	30	1.870	12.000	Universal
	20	1.060		
	40	2.700	20.000	Corrente reduzida
	16	1.020		
	32	2.500		
	110	8.200	12.000	HO
FLUORESCENTE COMPACTA	9	400	10.000	
	11	600		
	15	900		
	20	1.200		
	23	1.500		
FLUORESCENTE CIRCULAR	22	875	12.000	Luz do dia
	22	1.050		Branca fria
VAPOR DE MERCÚRIO	80	3.600	12.000	Bocal tipo E-27
	125	6.000	15.000	Bocal tipo E-40
	250	12.600		
	400	22.000		
VAPOR DE SÓDIO	50	3.300	16.000	Bocal tipo E-27
	70	5.800	24.000	Bocal tipo E-40
	150	14.000		
	250	25.000		
	400	47.000		
LUZ MISTA	160	3.100	8.000	Bocal tipo E-27
	250	5.500		
	250	5.500		Bocal tipo E-40
	500	13.500		

Tabela 5.2 - Fatores de utilização e manutenção de luminárias. - Fonte: [42]

Fm	Teto	75%			50%			Descrição
	Parede	50%	30%	10%	50%	30%	10%	
	k	Fatores de utilização						
0.77	J	0.36	0.29	0.25	0.36	0.29	0.25	Refletor industrial para lâmpadas incandescentes
	I	0.45	0.38	0.33	0.44	0.37	0.33	
	H	0.52	0.45	0.40	0.51	0.44	0.40	
	G	0.58	0.51	0.47	0.58	0.51	0.46	
	F	0.63	0.56	0.52	0.62	0.56	0.52	
	E	0.69	0.63	0.59	0.68	0.63	0.58	
	D	0.73	0.68	0.64	0.72	0.67	0.63	
	C	0.76	0.71	0.68	0.75	0.71	0.67	
	A	0.83	0.80	0.77	0.82	0.79	0.77	
0.70	J	0.40	0.35	0.32	0.34	0.35	0.32	Refletor industrial para lâmpadas de vapor de mercúrio e luz mista
	I	0.47	0.43	0.40	0.46	0.42	0.40	
	H	0.52	0.48	0.45	0.51	0.47	0.45	
	G	0.56	0.52	0.50	0.55	0.52	0.50	
	F	0.59	0.56	0.53	0.58	0.55	0.53	
	E	0.63	0.60	0.58	0.62	0.59	0.57	
	D	0.65	0.63	0.61	0.64	0.62	0.60	
	C	0.67	0.65	0.63	0.66	0.64	0.62	
	A	0.70	0.69	0.67	0.69	0.67	0.66	
0.70	J	0.35	0.28	0.24	0.33	0.28	0.24	Luminária industrial do tipo Miller
	I	0.43	0.36	0.32	0.41	0.35	0.31	
	H	0.49	0.43	0.38	0.47	0.42	0.38	
	G	0.56	0.49	0.45	0.53	0.48	0.43	
	F	0.60	0.54	0.50	0.57	0.53	0.49	
	E	0.66	0.61	0.56	0.63	0.59	0.55	
	D	0.69	0.65	0.61	0.66	0.63	0.59	
	C	0.72	0.68	0.65	0.69	0.65	0.63	
	A	0.78	0.76	0.73	0.75	0.73	0.71	
0.70	J	0.29	0.24	0.21	0.28	0.24	0.21	Refletor com difusor de plástico
	I	0.35	0.31	0.27	0.34	0.30	0.27	
	H	0.39	0.35	0.32	0.38	0.35	0.32	
	G	0.43	0.39	0.36	0.42	0.39	0.36	
	F	0.46	0.42	0.39	0.45	0.42	0.39	
	E	0.49	0.46	0.43	0.48	0.46	0.43	
	D	0.51	0.48	0.46	0.50	0.48	0.46	
	C	0.52	0.50	0.48	0.52	0.50	0.48	
	A	0.55	0.54	0.52	0.55	0.53	0.52	
0.80	J	0.32	0.25	0.20	0.30	0.24	0.20	Calha chanfrada
	I	0.40	0.32	0.27	0.38	0.31	0.26	
	H	0.47	0.39	0.34	0.44	0.38	0.32	
	G	0.53	0.46	0.40	0.50	0.44	0.39	
	F	0.58	0.51	0.45	0.55	0.49	0.44	
	E	0.64	0.58	0.52	0.61	0.56	0.51	
	D	0.68	0.62	0.58	0.65	0.60	0.56	
	C	0.72	0.66	0.62	0.68	0.64	0.60	
	A	0.79	0.75	0.72	0.76	0.72	0.70	

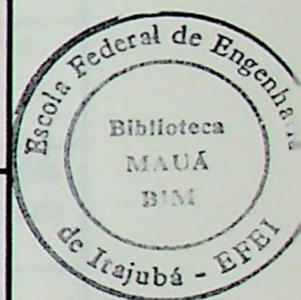


Tabela 5.3 - Iluminância em lux para cada grupo de tarefa visual. - Fonte: [41]

FAIXAS	ILUMINÂNCIA	TIPO DE ATIVIDADE
FAIXA A Iluminância geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20	Áreas públicas com arredores escuros
	30	
	50	
	50	Orientação simples para permanência curta
	75	
	100	
	100	Recintos não usados para trabalhos contínuos: depósitos
	150	
	200	
FAIXA B Iluminação geral para área de trabalho	200	Tarefas com requisitos visuais limitados: trabalho bruto de maquinaria, auditórios
	300	
	500	
	500	Tarefas com requisitos visuais normais: trabalho médio de maquinaria, escritórios
	750	
	1.000	Tarefas com requisitos especiais: gravação manual, inspeção industrial de roupas
	1.000	
	1.500	
2.000		
FAIXA C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2.000	Tarefas visuais exatas e prolongadas: montagem de relógios, eletrônica de tamanho pequeno
	3.000	
	5.000	
	5.000	Tarefas visuais muito exatas: montagem de microeletrônica
	7.500	
	10.000	Tarefas visuais muito especiais; cirurgia
	10.000	
	15.000	
20.000		

5.6 - ALGORITMO E UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

As informações para utilização do programa são apresentadas a seguir.

5.6.1 - ALGORITMO

Início

Escolha do tipo de ambiente

Obtenção da iluminância correspondente

Entrar com as dimensões físicas do ambiente

Escolha do tipo de lâmpada e luminária
Escolha da potência da lâmpada
Escolha dos coeficientes de reflexão do teto e da parede
Obtenção do fator de manutenção
Obtenção do fator de utilização
Cálculo da área do local
Cálculo do índice do ambiente
Cálculo do fluxo luminoso total
Obtenção do fluxo luminoso, preço e vida média da lâmpada selecionada
Cálculo da quantidade de luminárias
Entrar com o valor da energia elétrica
Entrar com a utilização diária das lâmpadas
Obtenção do número e preço dos reatores
Cálculo do custo de energia
Cálculo do custo de reposição de lâmpadas
Cálculo do custo operacional total anual
Obtenção do preço da luminária escolhida
Cálculo do custo total de lâmpadas, luminárias e reatores
Cálculo do custo da mão de obra
Cálculo do custo total do investimento
Se Alternativa = Alternativa1, repetir todos os passos anteriores para Alternativa2
Cálculo da diferença entre os custos operacionais totais anuais
Cálculo da diferença entre os totais de investimento
Cálculo da análise econômica selecionada
Fim.

5.6.2 - UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

Como o programa é bastante amigável, para utilizá-lo basta seguir por todas as telas e escolher entre as alternativas apresentadas e preencher os respectivos campos com os valores requeridos. O banco de dados pode ser atualizado de acordo com as necessidades de cada um,

para isto basta selecionar a ficha banco de dados e inserir os novos valores. Os cálculos são realizados em tempo real e atualizados automaticamente em todos os campos.

Para as configurações de instalação atual e instalação alternativa tem-se os seguintes passos:

1º- Selecionar a ficha ambiente

Entrar com as dimensões do ambiente;

Escolher o tipo de ambiente;

Escolher os índices de reflexão do teto e da parede.

2º- Selecionar a ficha luminária

Escolher o tipo de luminária;

Escolher o tipo de lâmpada;

Escolher a potência da lâmpada;

Entrar com o valor do custo da mão de obra por luminária.

3º.- Selecionar a ficha dados econômicos

Entrar com a utilização diária das lâmpadas no horário de ponta e fora de ponta;

Entrar com o número de dias em funcionamento por mês;

Escolher o tipo de tarifação da energia elétrica;

Entrar com o tempo de uso da instalação para o caso atual e o tempo de pesquisa para o caso a ser estudado.

4º. Selecionar a ficha dados adicionais

Entrar com a taxa de atratividade anual.

Com o preenchimento das informações para os dois casos, apresenta-se automaticamente na parte inferior da tela o resultado da análise econômica selecionada entre as duas alternativas em questão.

5.7 - EXEMPLO DE CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

Como exemplo pretende-se apresentar um cálculo luminotécnico para verificar a viabilidade econômica na substituição de sistemas de iluminação em um galpão industrial, com as seguintes dimensões: largura de 10 metros, comprimento de 20 metros e pé direito de 3,8

metros; e com as seguintes características: iluminamento de 400 lux, cor do teto branco, cor da parede cinza, limpeza a cada 8 meses em ambiente médio, distância da luminária ao teto de 0,5 metro, altura do plano de trabalho de 0,85 metro. Sendo o tempo de pesquisa de 10 anos e tempo de utilização de 5 anos para o caso antigo com lâmpadas incandescentes de 200 W. O sistema a ser estudado possui lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W com taxa de atratividade anual de 10 %. O custo para a instalação completa de uma luminária para duas lâmpadas fluorescentes é de 20 Reais.

Resolução

$$E = 400 \text{ lux}$$

$$l = 10 \text{ m}, c = 20 \text{ m}$$

$$A = l \cdot c = 10 \cdot 20 = 200 \text{ m}^2$$

H = altura pé direito - altura plano de trabalho - distância da luminária ao teto

$$H = 3,8 - 0,85 - 0,5 = 2,45 \text{ m}$$

Cálculo do índice do ambiente

$$k = \frac{c \cdot l}{(c + l) \cdot H} = \frac{20 \cdot 10}{(20 + 10) \cdot 2,45} = 2,72 \Rightarrow \text{índice} = D$$

Lâmpadas incandescentes

Cálculo de rendimento do refletor

$$\eta = F_u \cdot F_m$$

$$\text{teto branco} \Rightarrow \rho = 75 \%$$

$$\text{parede cinza} \Rightarrow \rho = 50 \%$$

Para o refletor industrial temos [42]: $F_u = 0,68$

Para ambiente médio e limpeza a cada 8 meses [8], $F_m = 0,82$

$$\eta = 0,5576$$

Cálculo da quantidade de luminárias

$$Q = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot \phi_t} = \frac{400 \cdot 200}{0,5576 \cdot 3100} = 46,28 \text{ luminárias}$$

Cálculo da potência total do sistema de iluminação

$$P_t = (NR1 \cdot P_{Reat1} + NR2 \cdot P_{Reat2}) \cdot Q + P_{lam} \cdot n \cdot Q = 200 \cdot 1 \cdot 47 = 9.400 \text{ W}$$

Cálculo do custo anual de energia

$$CE = 12 \cdot UDL \cdot (P_t / 1000) \cdot DM \cdot kwh = 12 \cdot 10 \cdot 9,4 \cdot 22 \cdot 0,072773 = R\$1.805,93$$

Cálculo do custo anual de reposição das lâmpadas

$$CRL = 12 \cdot (n \cdot Q \cdot UDL \cdot DM/VML) \cdot PreLam = 12 \cdot (1 \cdot 47 \cdot 10 \cdot 22 / 1000) \cdot 1,6 = R\$198,53$$

Cálculo do custo operacional total anual

$$COT1 = CE + CRL = 1.805,93 + 198,53 = R\$2004,46$$

Cálculo do custo total das luminárias

$$CLM = PreLum \cdot Q = 17,10 \cdot 47 = R\$803,70$$

Cálculo do custo total das lâmpadas

$$CL = PreLamp \cdot n \cdot Q = 1,6 \cdot 1 \cdot 47 = R\$75,20$$

Cálculo do total de investimentos

$$TII = CLM + CL = 803,70 + 72,20 = R\$878,90$$

Lâmpadas fluorescentes

Cálculo do rendimento da luminária

$$\text{teto branco} \Rightarrow \rho = 75 \%$$

$$\text{parede cinza} \Rightarrow \rho = 50 \%$$

Para a luminária industrial tipo Miller temos: $F_u = 0,66$, $F_m = 0,82$

$$\eta = 0,5412$$

Cálculo da quantidade de luminárias

$$Q = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot \phi_t} = \frac{400 \cdot 200}{0,5412 \cdot 2 \cdot 2700} = 27,37 \text{ luminárias}$$

Cálculo da potência total do sistema de iluminação

$$P_t = 1 \cdot 20 \cdot 28 + 40 \cdot 2 \cdot 28 = 2800 \text{ W}$$

Cálculo do custo anual de energia

$$CE = 12 \cdot 10 \cdot 2,8 \cdot 22 \cdot 0,072773 = \text{R\$}537,94$$

Cálculo do custo anual de reposição das lâmpadas

$$\text{CRL} = 12 \cdot (2 \cdot 28 \cdot 10 \cdot 22 / 7500) \cdot 2,5 = \text{R\$}49,28$$

Cálculo do custo operacional total anual

$$\text{COT2} = CE + \text{CRL} = 537,94 + 49,28 = \text{R\$}587,22$$

Cálculo do custo total das luminárias

$$\text{CLM} = \text{PreLum} \cdot Q = 11,10 \cdot 28 = \text{R\$}310,80$$

Cálculo do custo total de reatores

$$\text{CR} = 1 \cdot 12,91 \cdot 28 = \text{R\$}361,48$$

Cálculo do custo total das lâmpadas

$$\text{CL} = \text{PreLamp} \cdot n \cdot Q = 2,5 \cdot 2 \cdot 28 = \text{R\$}140,00$$

Cálculo do custo total de mão de obra

$$\text{CMO} = Q \cdot \text{Mobra} = 28 \cdot 20 = \text{R\$}560,00$$

Cálculo do total de investimentos

$$\text{TI2} = \text{CLM} + \text{CL} + \text{CR} + \text{CMO} = \text{R\$}1.372,28$$

Cálculo dos índices econômicos

- Cálculo do valor presente líquido

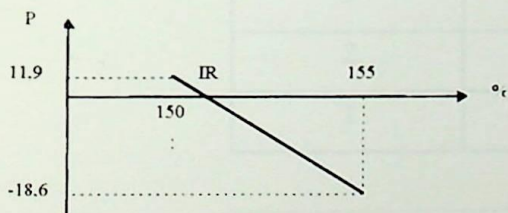
$$P = -[TI2 - TI1 \cdot (1 - Tu/10)] + (COT1 - COT2) \cdot \left\{ \frac{[(1+i)^{np} - 1]}{i \cdot (1+i)^{np}} \right\}$$

$$P = -[1.372,28 - 878,90 \cdot (1 - 5/10)] + (2.004,46 - 587,22) \cdot \left[\frac{(1+0,1)^{10} - 1}{0,1 \cdot (1+0,1)^{10}} \right] = 7.775$$

Como o valor P é positivo, a substituição é viável.

- Método da taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (IR) é obtida através de interpolação linear do valor presente líquido, arbitrando-se taxas de atratividade.



$$\frac{IR - 150}{11,9} = \frac{155 - IR}{18,6} \Rightarrow IR \approx 152 \% \text{ a.a.}$$

Como a taxa interna de retorno é superior à taxa mínima de atratividade, o projeto é viável.

- Método do prazo de amortização

$$PA = \ln\{1 - i \cdot [TI2 - TI1 \cdot (1 - Tu/10)] / (COT1 - COT2)\} / [-\ln(1+i)] = \ln\{1 - 0,1 \cdot [1.372,28 - 878,90 \cdot (1 - 5/10)] / (2.004,46 - 578,22)\} / [-\ln(1+0,1)] = 0,71$$

O investimento terá um retorno em 0,71 anos ou 9 meses.

Análise de sensibilidade

A seguir tem-se a Tabela 5.4 que apresenta os valores de VPL, TIR e PA obtidos com a variação na utilização diária das lâmpadas (UDL), e as Figuras 5.2 a 5.4 mostra os gráficos dos índices econômicos em função de UDL.

Tabela 5.4 - Índices econômicos para os diversos valores de UDL.

UDL (horas)	VPL	TIR (% a.a)	PA (meses)
10	7.314	154	8
9	6.496	139	9
8	5.679	123	11
7	4.861	108	12
6	4.043	92	14
5	3.226	77	17
4	2.408	61	22
3	1.590	45	31
2	773	28	49
1	-45	9	131

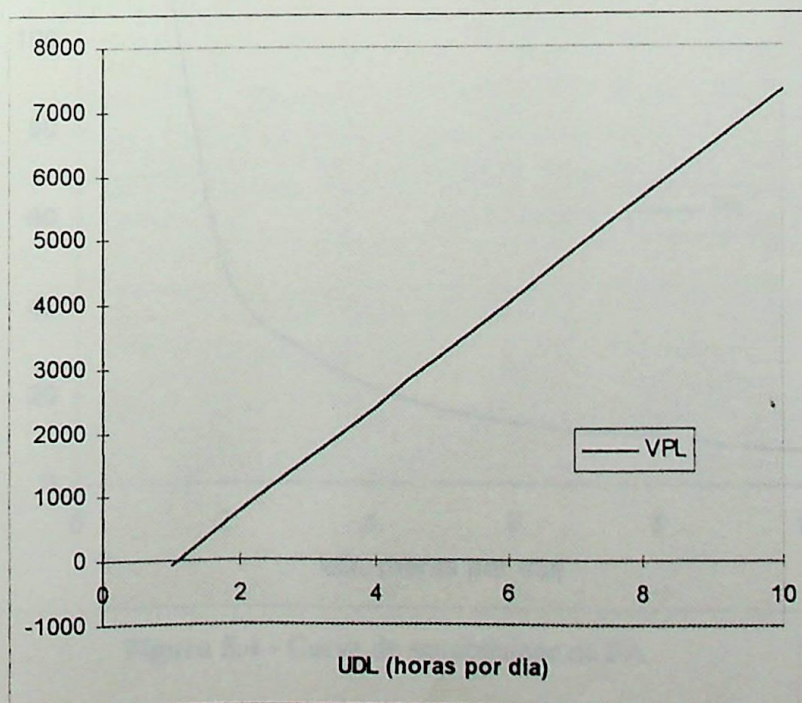


Figura 5.2 - Curva de sensibilidade de VPL.

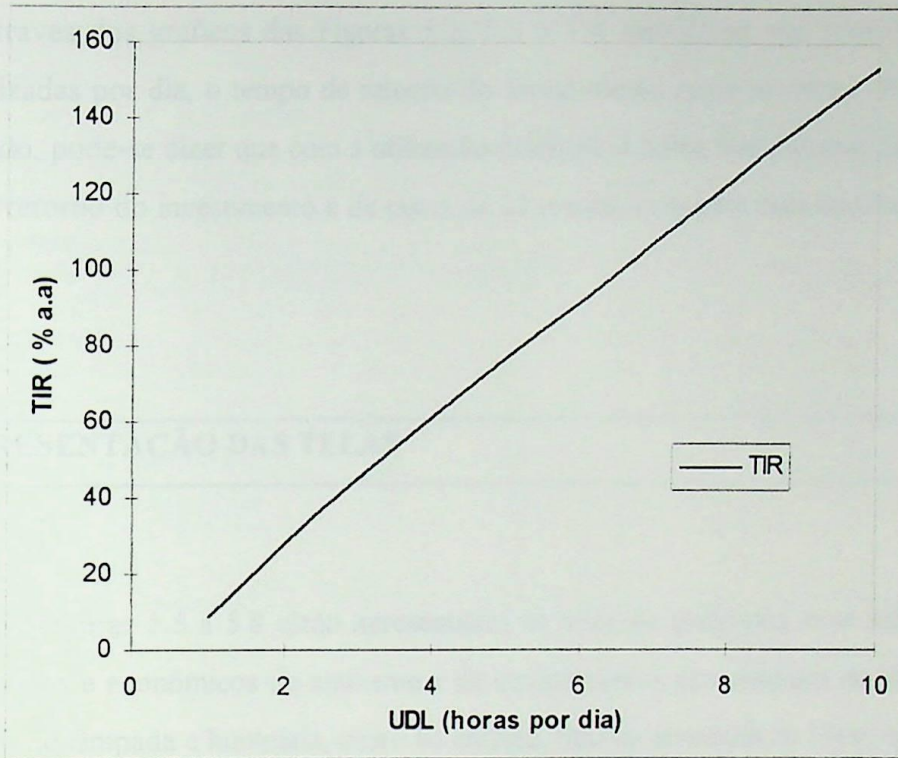


Figura 5.3 - Curva de sensibilidade de TIR.

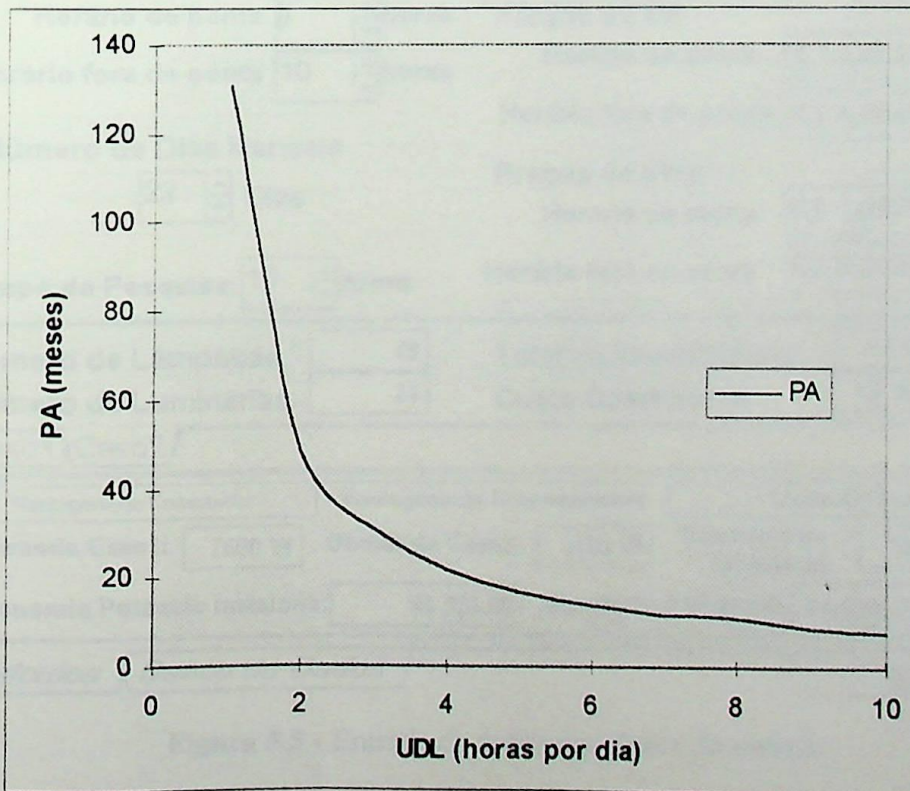


Figura 5.4 - Curva de sensibilidade de PA.

Através dos gráficos das Figuras 5.2, 5.3 e 5.4, verifica-se que com o aumento das horas utilizadas por dia, o tempo de retorno do investimento torna-se menor. Para o exemplo apresentado, pode-se dizer que com a utilização diária de 4 horas dos sistemas de iluminação, o tempo de retorno do investimento é de cerca de 22 meses, com uma taxa interna de retorno de 61 % a.a.

5.8 - APRESENTAÇÃO DAS TELAS

Nas Figuras 5.5 a 5.8 estão apresentadas as telas do programa com informações dos dados técnicos e econômicos do ambiente e de equipamentos dos sistemas de iluminação, tais como: tipo de lâmpada e luminária, custo da energia, tipo de atividade do local, entre outros.

Ambiente		Luminária		Dados Econômicos	
Uso Diário da Lâmpada				A4 - azul úmido	
Horário de ponta	1 horas	Preços do kW		Horário de ponta	
Horário fora de ponta	10 horas	Horário de ponta		R\$ 14,4024	
Número de Dias Mensais				Horário fora de ponta	
22 Dias				Preços do kWh	
Tempo de Pesquisa: 10 Anos				Horário de ponta	
				R\$ 0,0875	
				Horário fora de ponta	
				R\$ 0,0397	
Número de Lâmpadas	48	Total do Investimento	R\$ 816,24		
Número de Luminárias	24	Custo Operacional	R\$ 3650,89		
Caso1		Caso2			
Vantagens do Consumidor		Vantagens da Concessionária		Dados Adicionais	
Demanda Caso1:	7600 W	Demanda Caso2:	2400 W	Diferença de Demanda	5200 W
Economia Potência Instalada:	R\$ 520,00	Economia Demanda:	Tarifas Diferentes		
Calculos		Banco de Dados		Saida	

Figura 5.5 - Entrada de dados dos custos da energia

Ambiente		Luminária	Dados Econômicos
Dimensões		Ambiente e Reflexão	
Altura	3,8 metros	Tipo Tarefas com requisitos visuais limitados, áreas publicas com arredores escuros orientação simples para permanência curta recintos nao usados para trabalho contínuo, depósitos Tarefas com requisitos visuais limitados, auditórios Tarefas com requisitos visuais normais, escritórios Tarefas com requisitos visuais especiais, gravação manual Tarefas visuais exatas e prolongadas, montagem de relógios Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica	
Largura	10 metros		
Comprimento	20		
Altura da Luminária ao teto	0,5		
Altura do Plano de trabalho	0,85		
Número de Lâmpadas	38		Total do Investimento
Número de Luminárias	38	Custo Operacional	R\$ 2430,85
Caso1 / Caso2			
Vantagens do Consumidor		Vantagens da Concessionária	Dados Adicionais
<input checked="" type="radio"/> Método do Valor Presente <input type="radio"/> Método da Taxa Interna de Retorno <input type="radio"/> Método do Prazo de Amortização		Valor Presente:	9439,22
Calculos		Banco de Dados	Saida

Figura 5.6 - Entrada de dados do ambiente

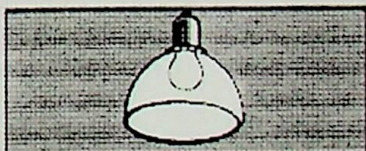
Ambiente		Luminária	Dados Econômicos
Tipo de Luminária			
refletor industrial incandescente			
Tipo de Lâmpada			
incandescente incandescente fluorescente tubular comum fluorescente tubular especial fluorescentes compactas luz mista vapor de sódio vapor metálico vapor de mercúrio			
Vantagens do Consumidor		Vantagens da Concessionária	Dados Adicionais
<input checked="" type="radio"/> Método do Valor Presente <input type="radio"/> Método da Taxa Interna de Retorno <input type="radio"/> Método do Prazo de Amortização		Valor Presente:	9905,71
Calculos		Banco de Dados	Saida

Figura 5.7 - Entrada de dados do sistema de iluminação para o caso 1.

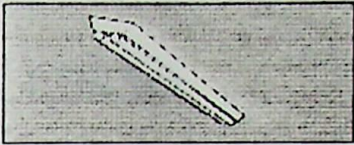
Ambiente		Luminária		Dados Econômicos	
Tipo de Luminária					
calha fluorescente 2x32/40					
Tipo de Lâmpada					
fluorescente tubular comum					
Potência	40	Watts	Custo da Mão de Obra por Luminária:	R\$ 5,00	
Número de Lâmpadas	48	Total do Investimento	R\$ 816,24		
Número de Luminárias	24	Custo Operacional	R\$ 835,11		
Caso1		Caso2			
Vantagens do Consumidor		Vantagens da Concessionária		Dados Adicionais	
Demanda Caso1:	7600 W	Demanda Caso2:	2400 W	Diferença de Demanda	5200 W
Economia Potência Instalada:	R\$ 520,00	Economia Demanda:	R\$ 0,00		
Calculos		Banco de Dados		Saida	

Figura 5.8 - Entrada de dados do sistema de iluminação para o caso 2.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO

Este trabalho procura contribuir na análise de sistemas de iluminação sob os aspectos de conservação e qualidade da Energia Elétrica.

Sob o ponto de vista de conservação de energia, verifica-se através dos gráficos de consumo médio dos consumidores, obtidos em medições do programa de incentivo da CPFL, que a utilização de lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico, são mais eficientes do que as lâmpadas incandescentes.

Em relação à qualidade da Energia Elétrica, valores de distorção harmônica individual obtidos, encontra-se dentro dos padrões da Norma Internacional IEC, desta forma, pode-se afirmar que, individualmente, as lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico não poluem o sistema elétrico.

Em ensaios individuais realizados em laboratório, verifica-se que em lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico, há uma grande faixa nos níveis de distorção harmônica total de corrente, que poderá causar aquecimento nos fios.

A utilização do programa faz-se para o cenário específico referente aos preços escolhidos. Para um caso particular de interesse, é preciso alimentar o bancos de dados para se obter a análise desejada. Uma vez feito isso, a utilização é automática e amigável, com uma grande facilidade de auto-ajuda.

O programa oferece a possibilidade de análise simples e rápida, contribuindo com um estudo de viabilidade econômica para substituição de sistemas de iluminação. Uma vez que duas alternativas quaisquer são analisadas de cada vez, o programa oferece liberdade para que o profissional empregue seu bom senso nos aspectos que se referem a decoração, estética, conforto visual, temperatura de cor, ao escolher qual alternativa irá adotar. Verifica-se que

com o aumento de horas utilizadas por dia dos sistemas de iluminação. o tempo de retorno diminui e os valores de valor presente líquido e taxa interna de retorno aumentam. Com isso pode-se dizer que o tempo de utilização das lâmpadas é um fator que irá influenciar bastante nos cálculos de viabilidade econômica.

Como possíveis extensões para este trabalho sugere-se:

- Verificação da influência do funcionamento de um grande número de lâmpadas com reator eletrônico, no sistema elétrico.
- Verificação dos níveis de aquecimento da instalação devido aos harmônicos de corrente produzidos pelas lâmpadas eletrônicas.
- Elaboração de normas na importação de equipamentos de iluminação eletrônicos, verificando índices de qualidade tais como: fator de distorção harmônico, vida útil e eficiência luminosa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ministério das Minas e Energia, Procel / Eletrobrás, "Estratégias de Conservação de Energia Elétrica para o Brasil". Seminário Internacional, Brasil, Outubro de 1994.
- [2] Philips Iluminação, "Benefícios de uma boa Iluminação", Brasil, 1996.
- [3] Boer, J.B.; Fischer, D. "Interior Lighting", Philips Technical Library, Netherlands, 1978.
- [4] Lumicenter - Indústria e Comércio de Luminárias Ltda. - Catálogo, Brasil, 1996.
- [5] Borg, N., "Lâmpada T5: Ganhos de Eficiência dependem de cuidados na Aplicação". Revista Eletricidade Moderna, pp 102-110, Brasil, Agosto de 1997.
- [6] Philips, "Manual de Iluminação", Centro de Projetos e Engenharia de Iluminação, Holanda, 1986.
- [7] Itaim - Indústria Elétrica Itaim Comercial Ltda - Catálogo de Luminárias, Brasil, 1997.
- [8] Cotrim, A.A.M.B. "Instalações Elétricas", Editora MacGraw-Hill do Brasil, Brasil, 1977.
- [9] Garcia Jr. E., "Instalações Elétricas - Luminotécnica", Editora Érica, Brasil, 1996.
- [10] Sylvânia - Lâmpadas Fluorescentes - Boletim Técnico de Engenharia, Brasil, 1995.
- [11] Philips Iluminação - Catálogo de Reatores e Ignitores, Brasil, 1995.
- [12] Ministério das Minas e Energia, "Balanço Energético Nacional" - Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético - Ano base 1996, Brasil, 1997.

Referência Bibliográfica

- [13] Leonelli, P.; Monteiro, R.; Araújo, I.; Pollis, H.; Geller, H., “Evolução do mercado para Produtos Eficientes de Iluminação” - Revista Eletricidade Moderna, pp 60-76, Brasil, Agosto de 1997.
- [14] Ministério das Minas e Energia - Procel / Eletrobrás - Secretaria de Coordenação de Projetos “Substituição de Lâmpadas Incandescentes por Fluorescentes Compactas”, Rio de Janeiro, Brasil, 1996.
- [15] Haddad, J., “Uma contribuição à análise de conservação de Energia Elétrica utilizando a teoria dos conjuntos Fuzzy”, Tese de Doutorado, UNICAMP, Brasil, Abril de 1993.
- [16] Fonseca, R. S., “Iluminação Elétrica”, Editora McGraw-Hill do Brasil, Brasil, 1974.
- [17] Philips Iluminação - Sistema Philips de Iluminação, Brasil, 1995.
- [18] General Eletric do Brasil - Lâmpadas GE - Catálogo Geral, Brasil, 1996.
- [19] Sylvânia Iluminação, Catálogo de Lâmpadas, Brasil, 1996.
- [20] Osram - Produtos para Iluminação Geral - Catálogo, Brasil, 1997.
- [21] General Eletric do Brasil - Catálogo Geral de Lâmpadas Fluorescentes, Brasil, 1994.
- [22] Intral - Reatores, Estabilizadores e Transformadores, Catálogo, Brasil, 1996.
- [23] Helfont - Reatores Eletromagnéticos e Eletrônicos, Catálogo, Brasil, 1997.
- [24] Siemens - Equipamentos de Iluminação, Catálogo de Reatores, Brasil, 1996.
- [25] Ministério de Minas e Energia - Procel / Eletrobrás, “Uso Racional de Energia Elétrica em Edificações - Iluminação”, Brasil, 1992.

Referência Bibliográfica

- [26] Philips Iluminação - Luminárias Internas - Catálogo, Brasil, 1995.
- [27] Rocha, A.C. O., Mello, C. A. F. e Gomes, H. N. "Harmônicos Causados pela Operação Simultânea de Televisores" *Eletricidade Moderna*, pp 234-242, Brasil, Abril de 1997.
- [28] Melhorn, C. J.; Schawabe, R.J.; Samotyj, M. "Effects of High Efficiency Lighting on Power Quality in Public Buildings", pp 2069-2075, Conference Record of the 1995 IEEE Industry Applications - Conference Thirtieth IAS Annual Meeting, Flórida, USA, October, 1995.
- [29] Schwabe, R. J.; Zelingher, S.; Key, T., Phipps, K. "Interference Between Electronic Lighting and other Appliances", pp 2076-2082, Conference Record of the 1995 IEEE Industry Applications - Conference Thirtieth IAS Annual Meeting, Flórida, USA, October, 1995.
- [30] IEC 1000-2-1, Electromagnetic compatibility - "Description of the environment - Electromagnetic environment for low-frequency conducted disturbances and signalling in public power supply systems, 1990.
- [31] IEEE Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems. IEEE Std 519 - 1992 (Revision of IEEE Std 519-1981) Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers. Inc., 1993.
- [32] Ministério de Minas e Energia - Eletrobrás - Grupo Coordenador da Operação Interligada GCOI / Subcomissão de Estudos Eletrônicos SCEL / Comissão de Estudo de Cargas Específicas CECE "Critérios e procedimentos para atendimento a consumidores com cargas especiais", Brasil, 1993.
- [33] IEC 1000-2-2, Electromagnetic compatibility - "Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public power supply systems, 1990.
- [34] Topalis F. V., "Efficiency of energy saving lamps and harmonic distortion in distribution systems", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 8, Nº 4, pp 2038-2042, October, 1993.

Referência Bibliográfica

- [35] Arseneau, R.; Ouellette, M., "The effects of supply harmonics on the performance of compact fluorescent lamps", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, Nº 2, pp 473-479, April, 1993.
- [36] Vicente, J.M.E.; "Desenvolvimento de um Instrumento Digital para Medição de Grandezas Elétricas em Sistemas Trifásicos", Dissertação de Mestrado, Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI, Brasil, 1991.
- [37] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, "Verificação de iluminância de interiores - Procedimento" NBR 5382, Brasil, 1985.
- [38] Oliveira, J.A.N. "Engenharia Econômica: Uma Abordagem às Decisões de Investimento", Editora MacGraw-Hill do Brasil, Brasil, 1982.
- [39] Hess, G.; Marques, J.L.M.; Paes, L.C.M.R.; Puccini, A. L., "Engenharia Econômica" 10ª Edição, Editora Difel, Brasil, 1978.
- [40] Hirschfeld, H., "Engenharia Econômica e Análise de Custos", 5ª Edição, Editora Atlas, São Paulo, Brasil, 1992.
- [41] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT "Iluminância de interiores - Especificação", NBR 5413, Brasil, 1982.
- [42] General Eletric do Brasil S.A., "Cálculo de Iluminação Interna", Departamento de Lâmpadas e Iluminação, Brasil, 1992.

	1ª	3ª	5ª	7ª	9ª	11ª	13ª	15ª	17ª	19ª
132V	0,344	0,047	0,007	0,006	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
220V	0,265	0,031	0,005	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
132V	0,255	0,037	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ANEXO A

Neste anexo estão apresentados os resultados referentes aos ensaios realizados em laboratório das lâmpadas fluorescentes do tipo compacta, circular e tubular. Estas lâmpadas foram ensaiadas com reatores eletromagnéticos e eletrônicos.

Os resultados contendo os níveis harmônicos de corrente e tensão estão apresentadas nas Tabelas A1 a A38, e nas Figuras A1 a A38.

As Tabelas A39 a A46 e as Figuras A39 a A46 apresentam os níveis harmônicos de corrente e tensão de algumas lâmpadas após 2.000 horas de acendimento.

Nas figuras A47 a A55 mostram algumas lâmpadas e reatores ensaiados, bem como os equipamentos utilizados nas medições.

Tabela A1 - Harmônicos de corrente da lâmpada COM18

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,344	0,040	0,002	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
120v	0,265	0,031	0,003	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
108v	0,206	0,027	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000

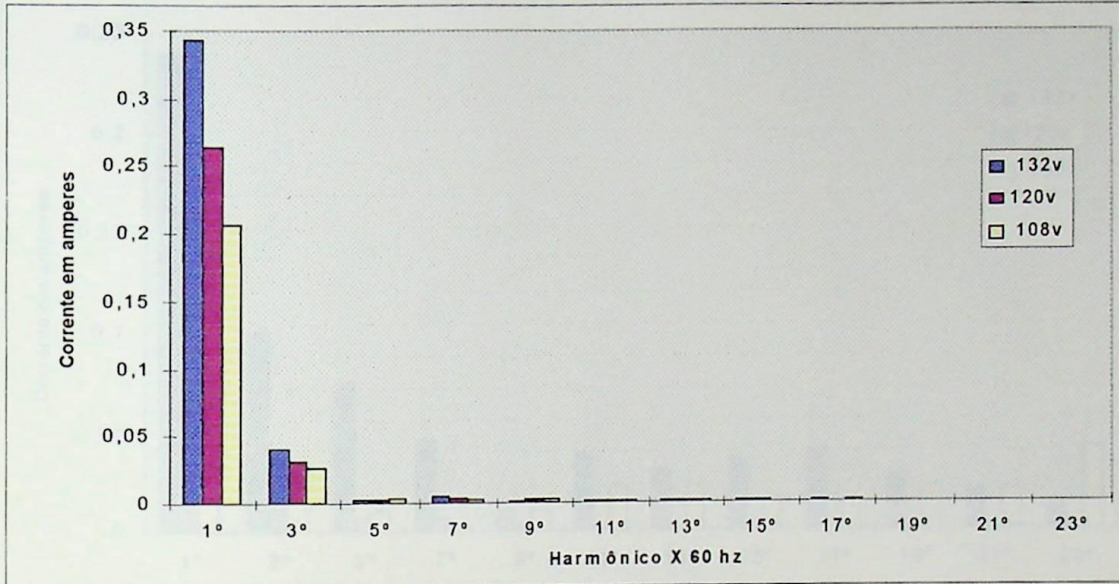


Figura A1 - Harmônicos de corrente da lâmpada COM18

Tabela A2 - Harmônicos de tensão da lâmpada COM18

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	132,90	0,55	0,49	0,23	2,55	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
120v	120,80	0,67	0,25	0,24	2,44	0,18	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
108v	108,70	0,62	0,57	0,22	1,97	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

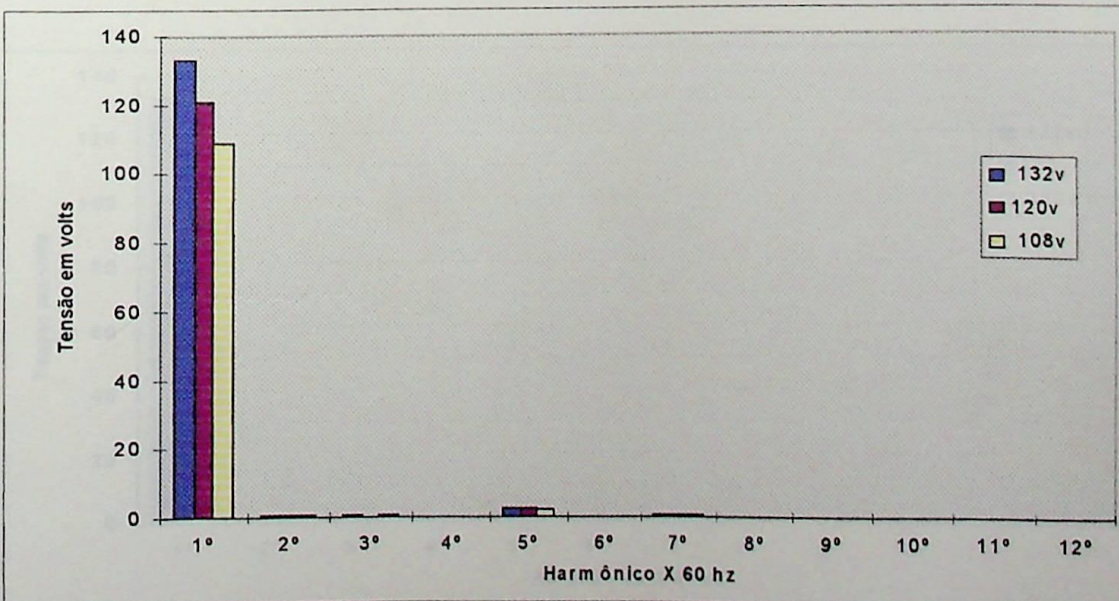


Figura A2 - Harmônicos de tensão da lâmpada COM18

Tabela A3 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE20

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,240	0,101	0,075	0,046	0,011	0,038	0,031	0,036	0,040	0,028	0,020	0,012
120v	0,161	0,029	0,007	0,007	0,004	0,001	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001
108v	0,154	0,035	0,011	0,004	0,011	0,022	0,022	0,016	0,015	0,022	0,021	0,041

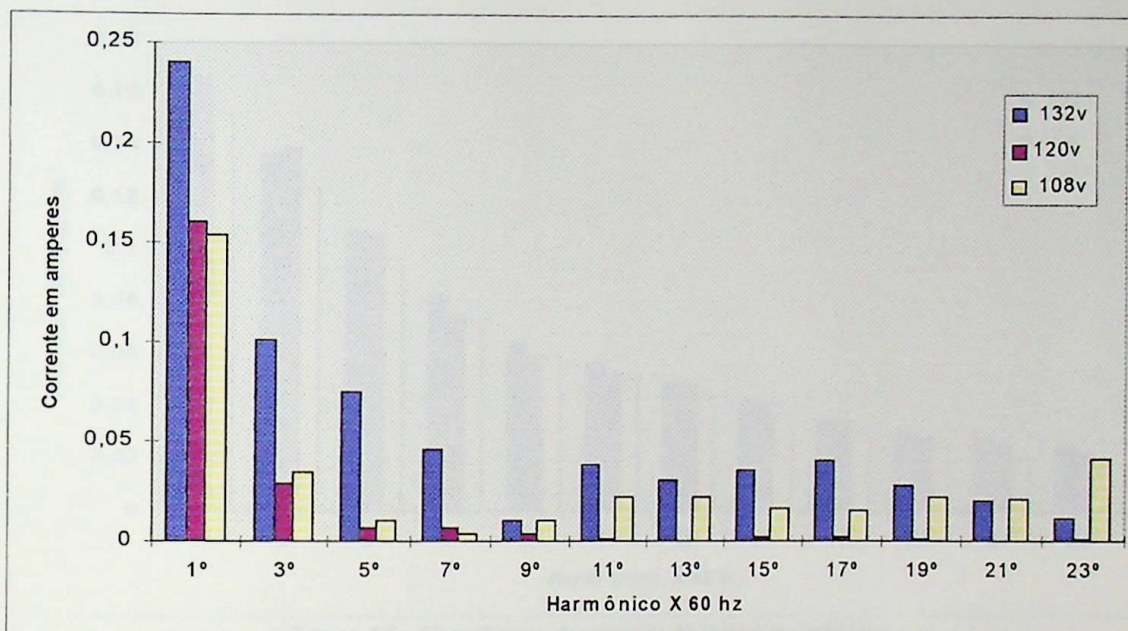


Figura A3 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE20

Tabela A4 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE20

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	132,90	0,88	0,52	0,37	2,68	0,93	0,44	1,31	0,14	1,12	0,15	0,18
120v	120,80	0,54	0,64	0,19	2,40	0,00	0,32	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
108v	109,20	0,71	0,42	0,00	2,06	0,40	0,31	0,42	0,55	0,35	0,59	0,41

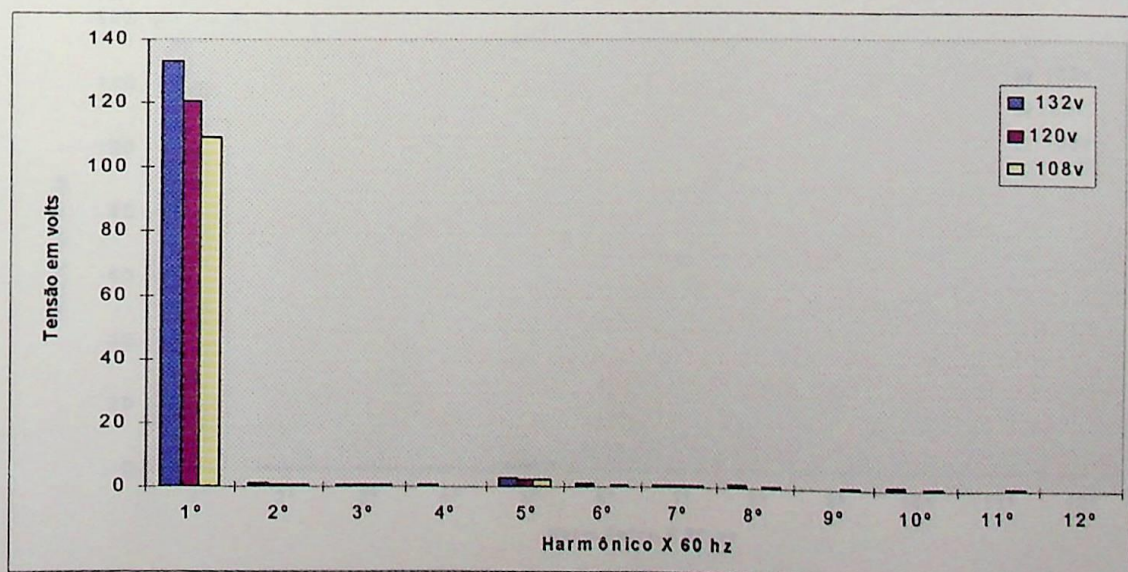


Figura A4 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE20

Tabela A5 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE18A

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,165	0,137	0,108	0,083	0,064	0,057	0,050	0,043	0,035	0,030	0,028	0,025
120v	0,167	0,139	0,106	0,076	0,059	0,053	0,049	0,042	0,034	0,028	0,025	0,022
108v	0,152	0,124	0,097	0,073	0,059	0,051	0,044	0,037	0,030	0,024	0,020	0,016

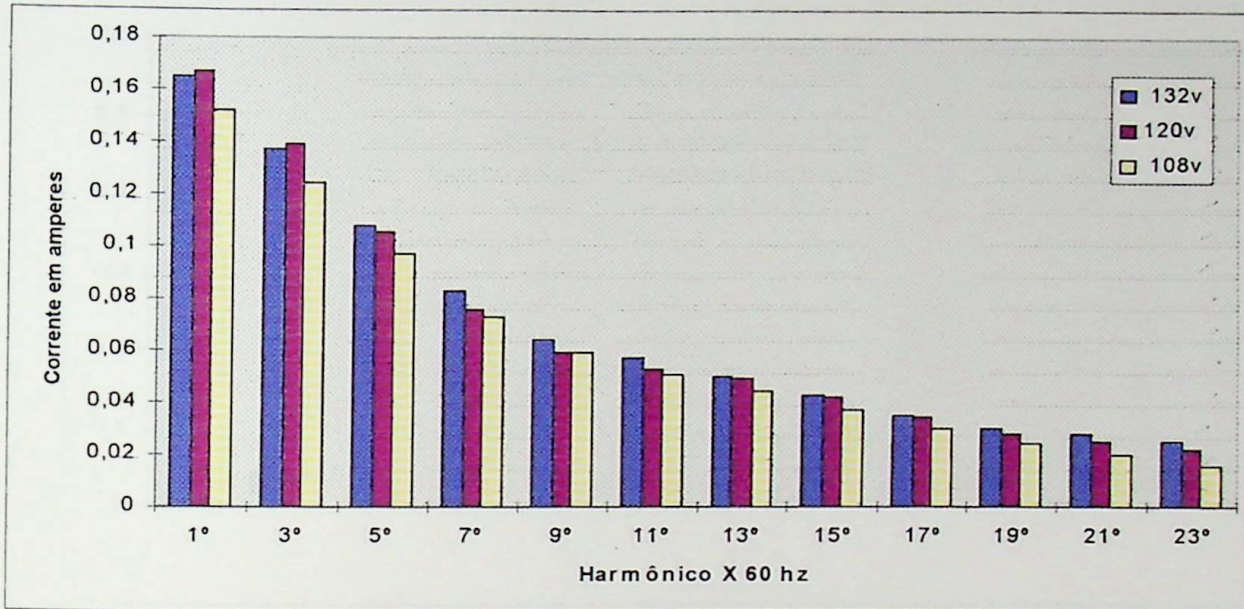


Figura A5 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE18A

Tabela A6 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE18A

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	133,40	0,63	0,41	0,29	2,24	0,20	0,23	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00
120v	120,30	0,58	0,45	0,43	2,08	0,24	0,15	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00
108v	108,90	0,51	0,44	0,25	1,97	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00

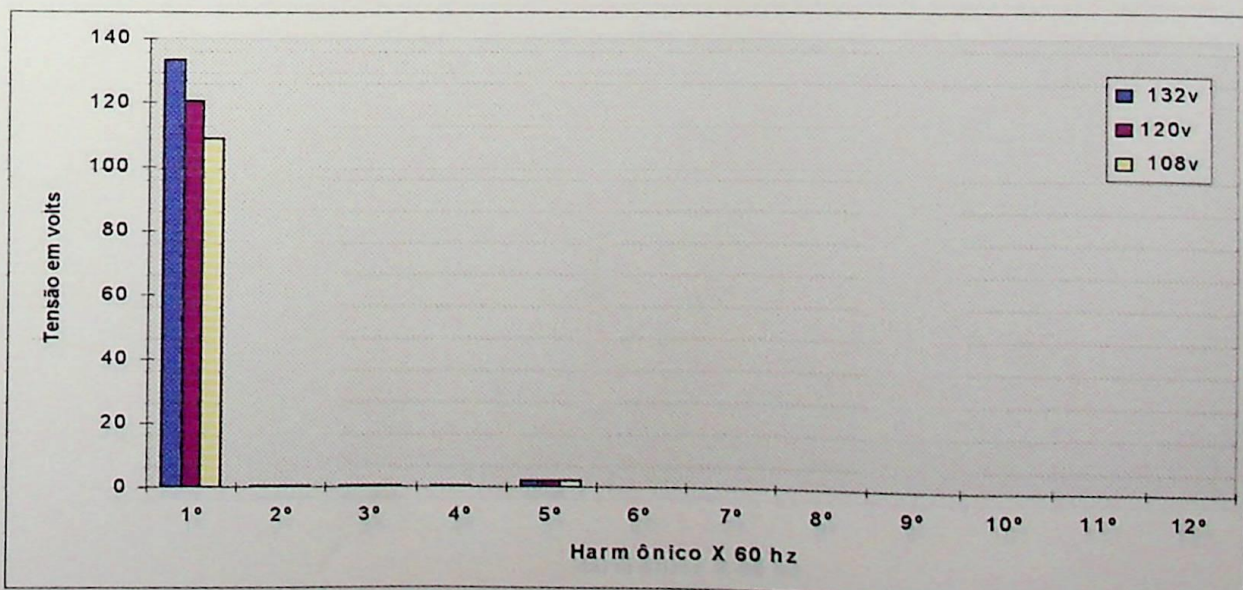


Figura A6 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE18A

Tabela A7 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIM27

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,505	0,046	0,011	0,007	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
120v	0,419	0,045	0,011	0,006	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
108v	0,329	0,042	0,009	0,004	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

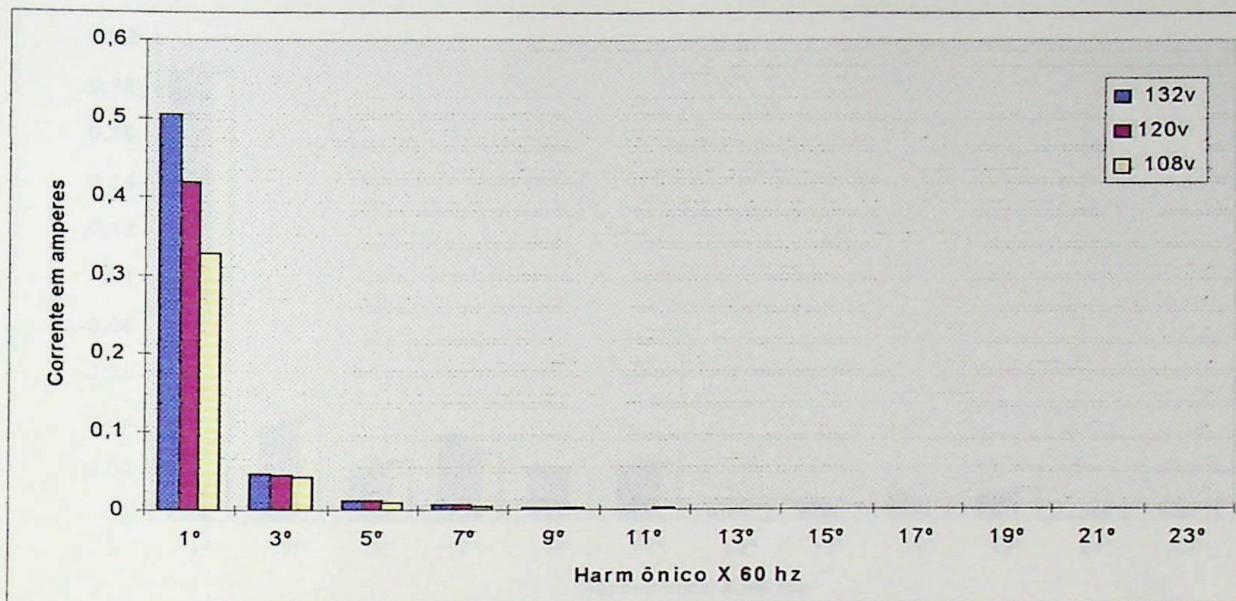


Figura A7 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIM27

Tabela A8 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIM27

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	132,50	0,73	0,65	0,19	2,65	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
120v	120,90	0,39	0,41	0,00	2,22	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
108v	108,40	0,42	0,41	0,00	2,19	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

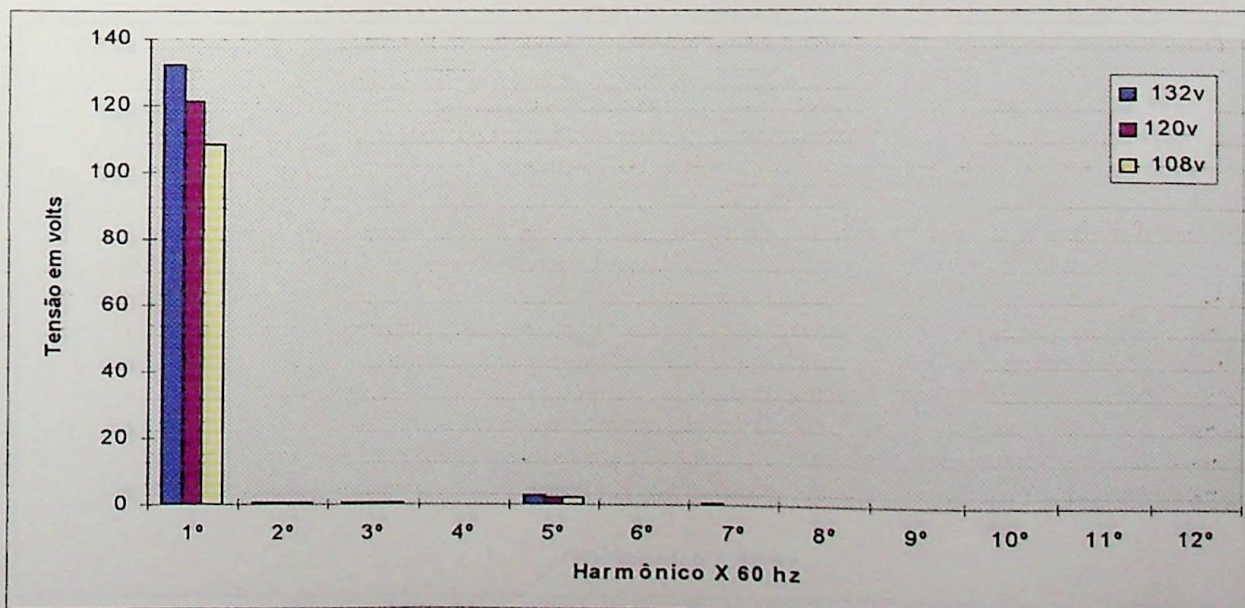


Figura A8 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIM27

Tabela A9 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22A

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,187	0,039	0,019	0,036	0,023	0,022	0,004	0,007	0,011	0,010	0,001	0,005
120v	0,190	0,042	0,024	0,030	0,022	0,024	0,003	0,005	0,008	0,012	0,004	0,004
108v	0,187	0,044	0,025	0,028	0,023	0,024	0,006	0,006	0,008	0,013	0,005	0,005

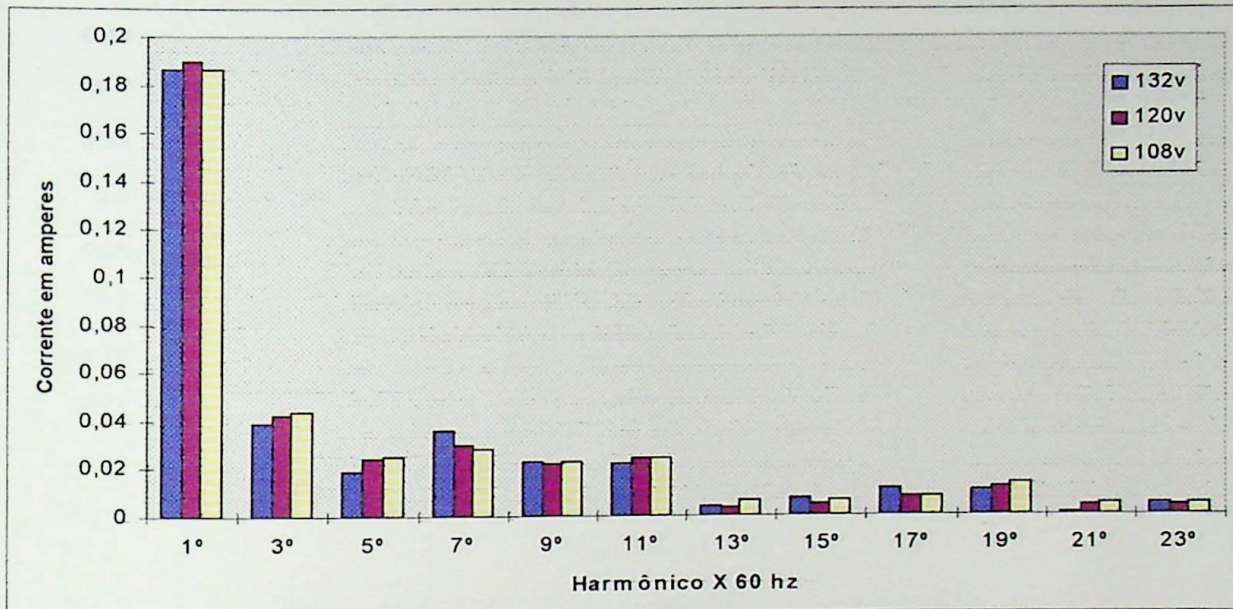


Figura A9 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22A

Tabela A10 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22A

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	133,30	0,70	0,29	0,21	2,99	0,00	0,58	0,00	0,28	0,00	0,31	0,00
120v	120,90	0,70	0,40	0,17	2,58	0,00	0,51	0,00	0,22	0,00	0,22	0,00
108v	108,60	0,40	0,20	0,28	2,44	0,00	0,49	0,00	0,23	0,00	0,26	0,00

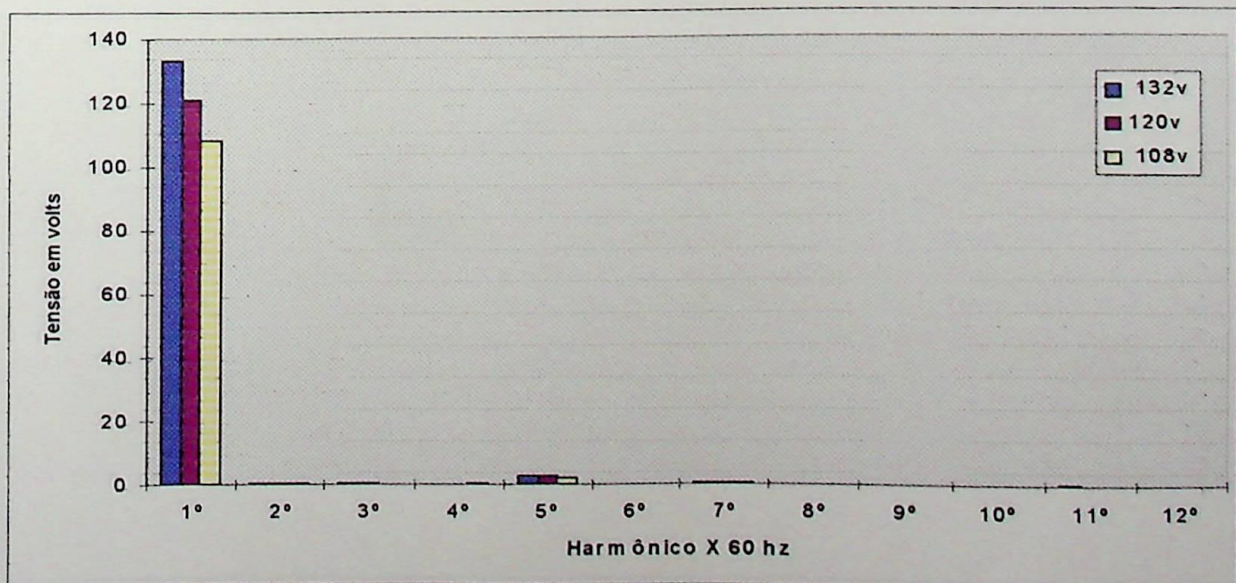


Figura A10 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22A

Tabela A11 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIM22A

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	14°	15°	17°	19°	21°
132v	0,407	0,061	0,009	0,007	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
120v	0,306	0,038	0,003	0,007	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
108v	0,239	0,030	0,006	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

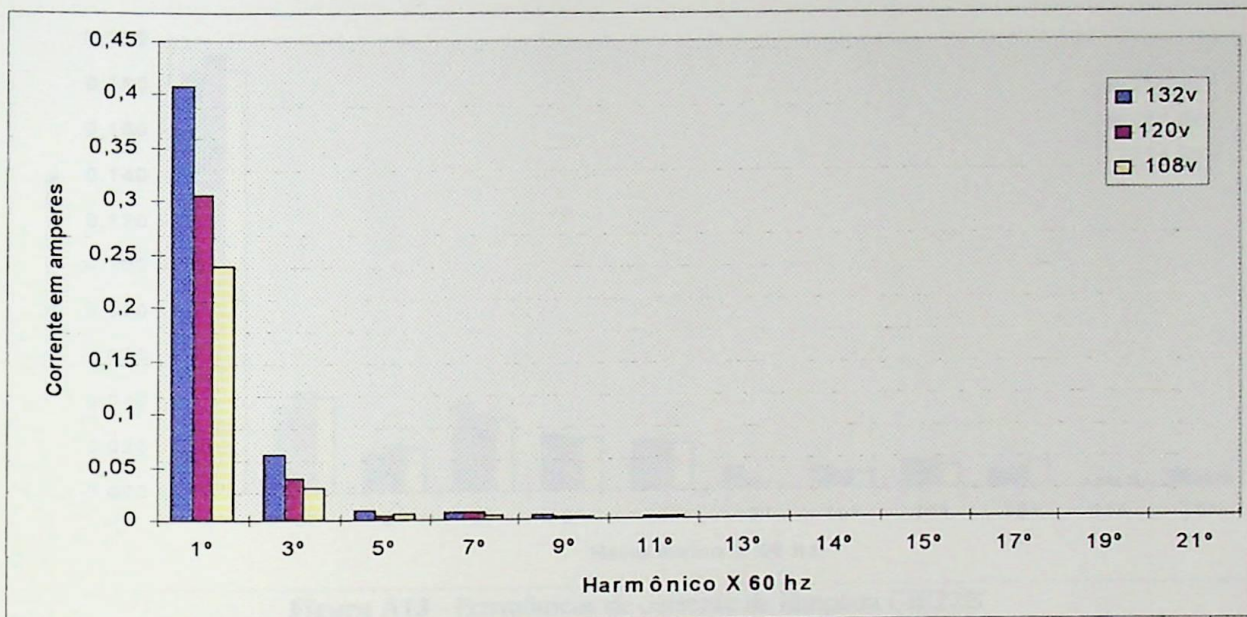


Figura A11 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIM22A

Tabela A12 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIM22A

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	132,90	0,52	0,00	0,27	2,82	0,18	0,39	0,00	0,16	0,00	0,21	0,00
120v	120,60	0,43	0,14	0,20	2,85	0,18	0,41	0,00	0,16	0,00	0,18	0,00
108v	108,40	0,50	0,29	0,00	2,40	0,14	0,42	0,00	0,15	0,00	0,16	0,00

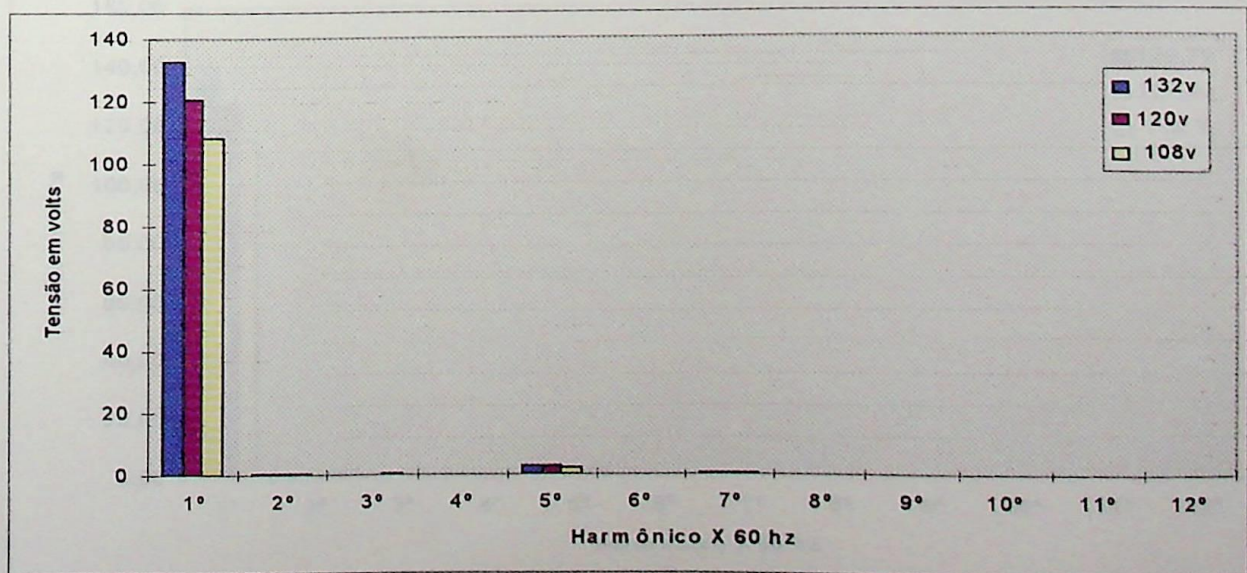


Figura A12 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIM22A

Tabela A13 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22B

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
139,7v	0,185	0,038	0,017	0,039	0,025	0,022	0,010	0,009	0,012	0,007	0,001	0,006
127,0v	0,193	0,044	0,021	0,034	0,023	0,022	0,004	0,007	0,011	0,008	0,002	0,002
114,3v	0,186	0,042	0,019	0,032	0,023	0,021	0,002	0,007	0,010	0,011	0,002	0,003

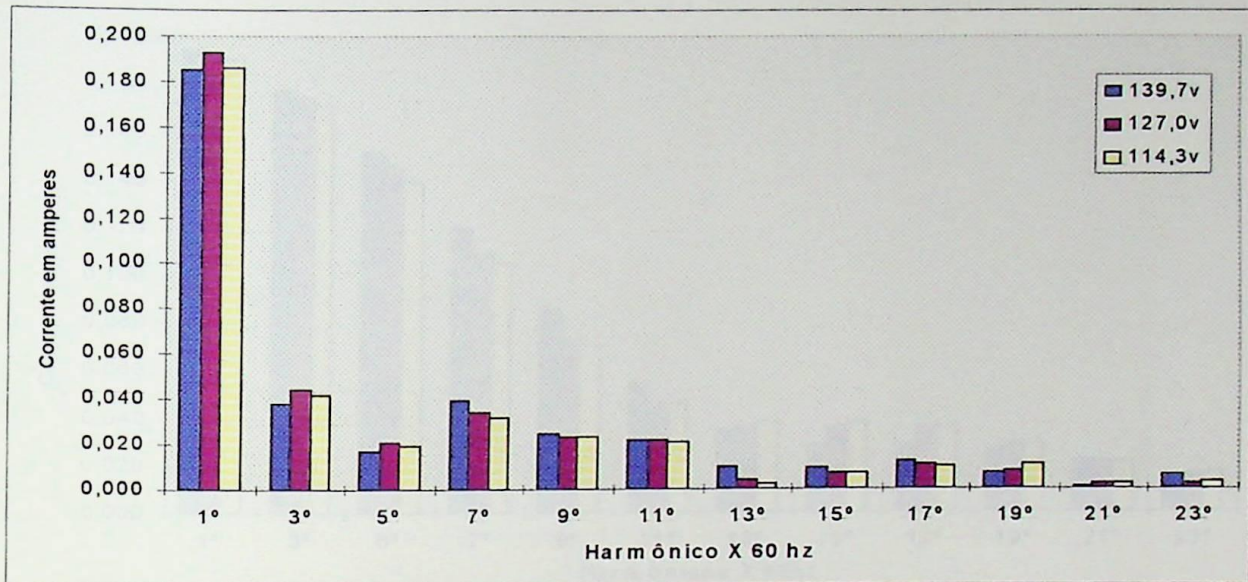


Figura A13 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22B

Tabela A14 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22B

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
139,7v	140,30	0,72	0,27	0,39	2,59	0,20	0,58	0,00	0,29	0,00	0,25	0,00
127,0v	127,70	0,60	0,00	0,23	2,34	0,00	0,40	0,00	0,28	0,00	0,21	0,00
114,3v	114,80	0,50	0,27	0,20	2,45	0,00	0,50	0,00	0,22	0,00	0,24	0,00

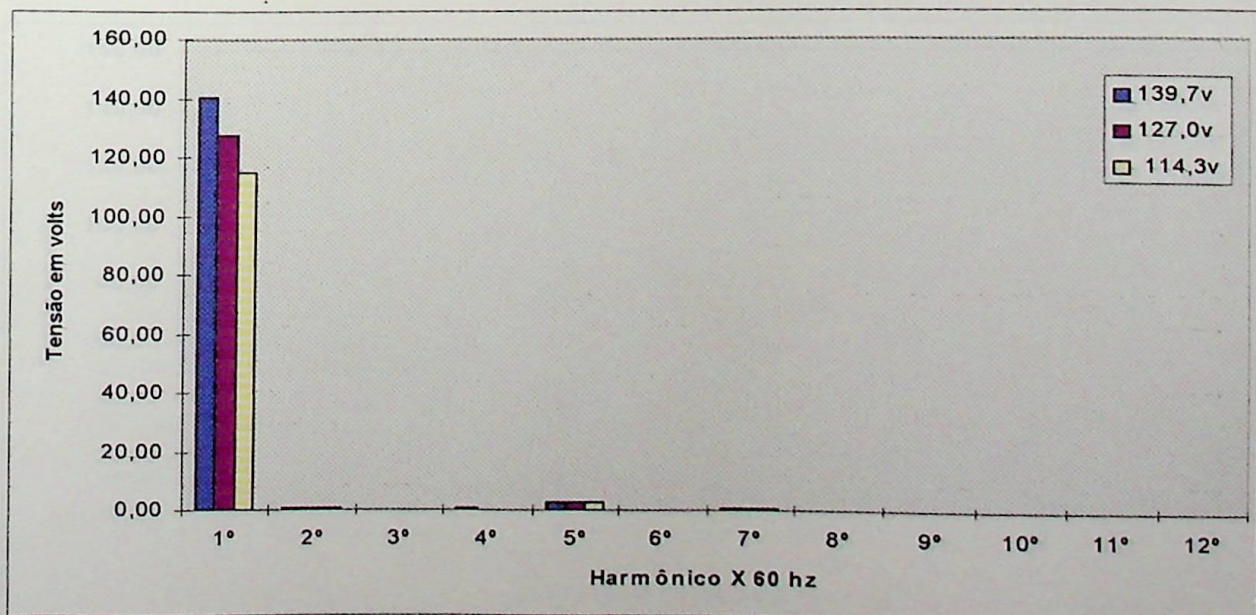


Figura A14 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22B

Tabela A15 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22C

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
139,7v	0,195	0,178	0,152	0,120	0,086	0,055	0,035	0,028	0,029	0,027	0,022	0,015
127,0v	0,195	0,175	0,145	0,109	0,073	0,046	0,036	0,036	0,035	0,029	0,021	0,016
114,3v	0,191	0,172	0,140	0,105	0,070	0,046	0,038	0,038	0,036	0,029	0,021	0,017

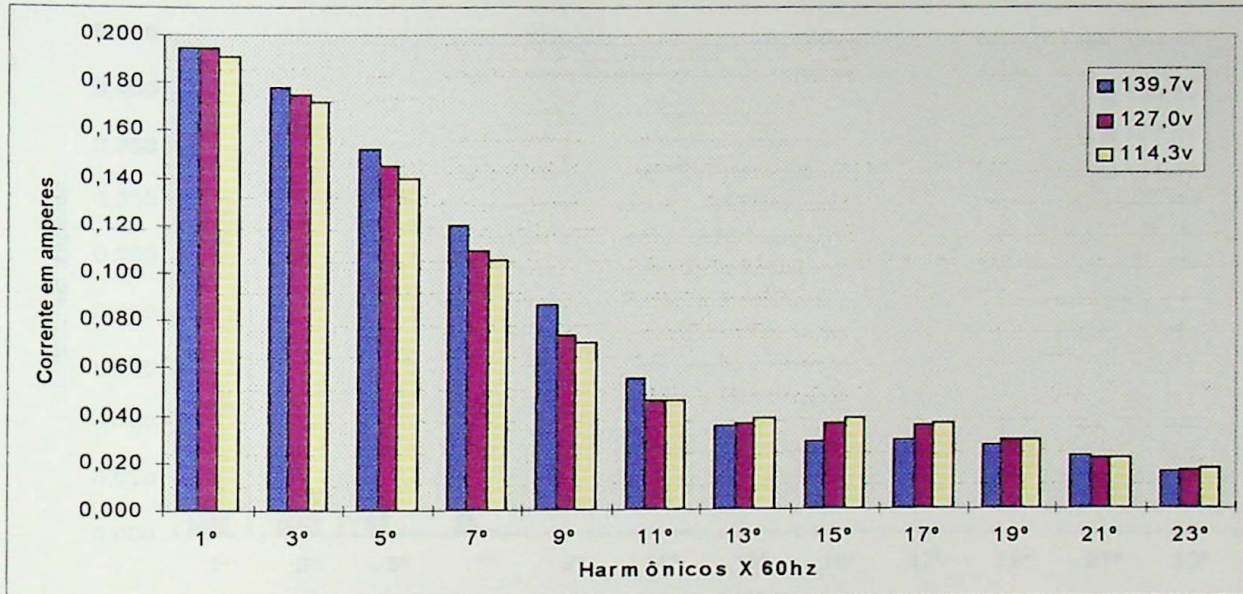


Figura A15 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE22C

Tabela A16 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22C

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
139,7v	140,40	0,57	0,62	0,20	2,13	0,00	0,44	0,00	0,43	0,00	0,41	0,00
127,0v	128,10	0,66	0,37	0,24	2,16	0,00	0,38	0,00	0,28	0,00	0,24	0,00
114,3v	114,60	0,53	0,32	0,15	2,00	0,00	0,38	0,00	0,27	0,00	0,25	0,00

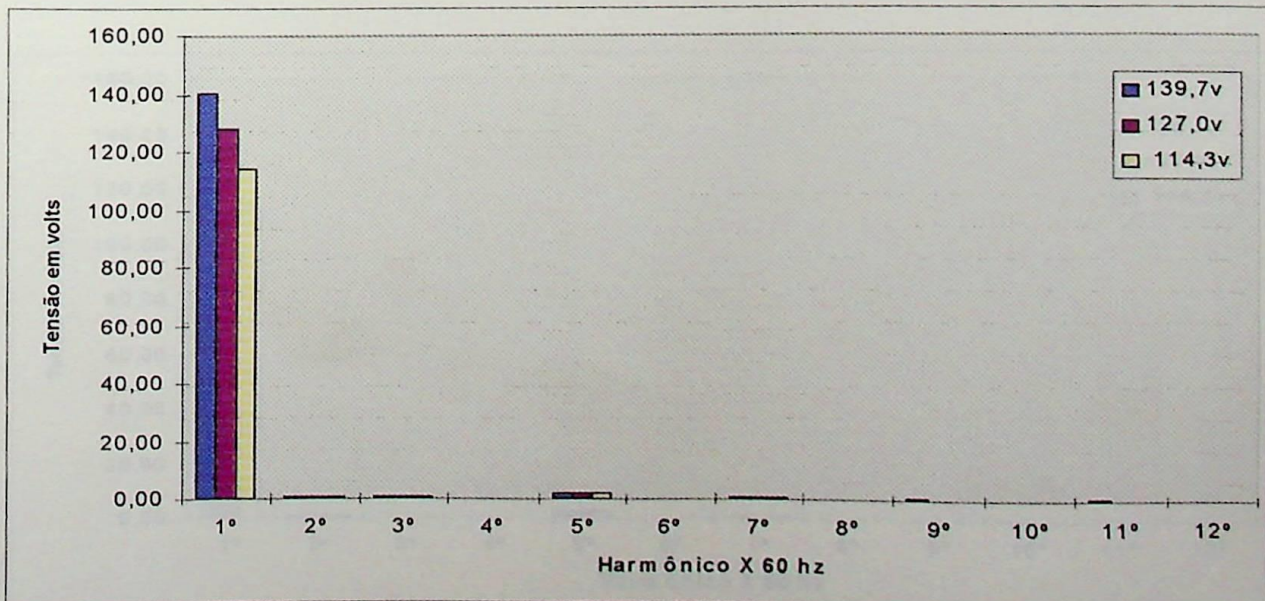


Figura A16 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE22C

Tabela A17 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIM22B

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
139,7v	0,441	0,091	0,032	0,017	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
127,0v	0,305	0,039	0,004	0,006	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
114,3v	0,219	0,027	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000

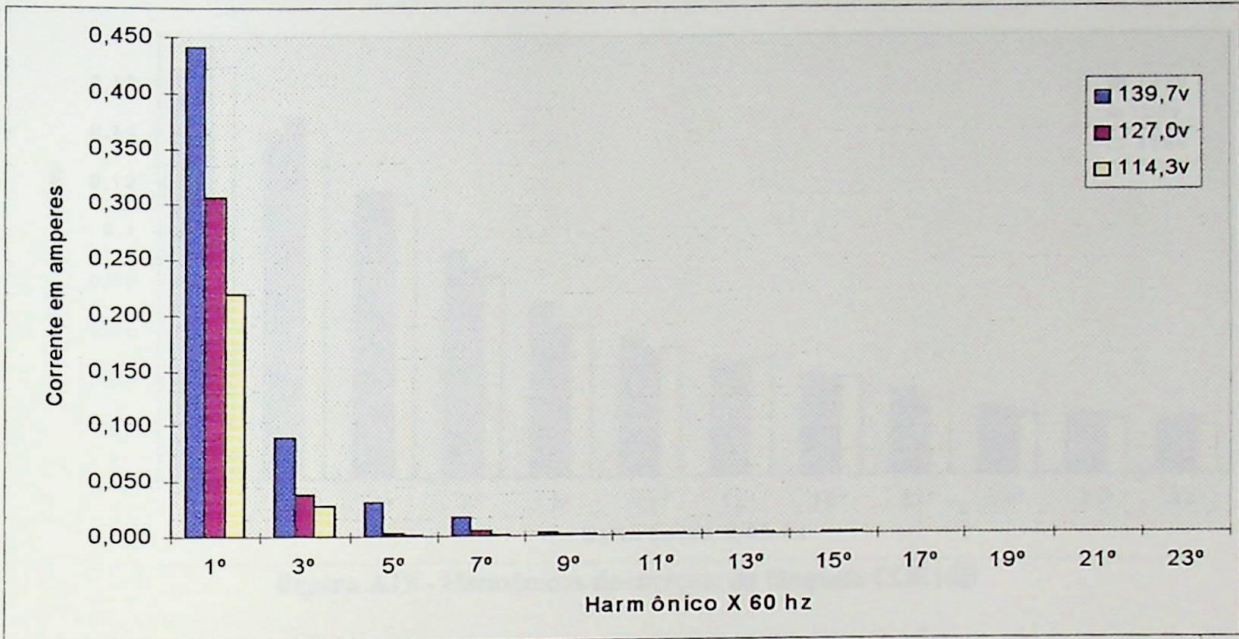


Figura A17 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIM22B

Tabela A18 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIM22B

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
139,7v	141,50	0,78	0,31	0,21	2,30	0,00	0,41	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
127,0v	128,50	0,56	0,00	0,14	2,35	0,00	0,30	0,00	0,18	0,00	0,14	0,00
114,3v	114,40	0,66	0,21	0,23	2,42	0,00	0,43	0,00	0,17	0,00	0,12	0,00

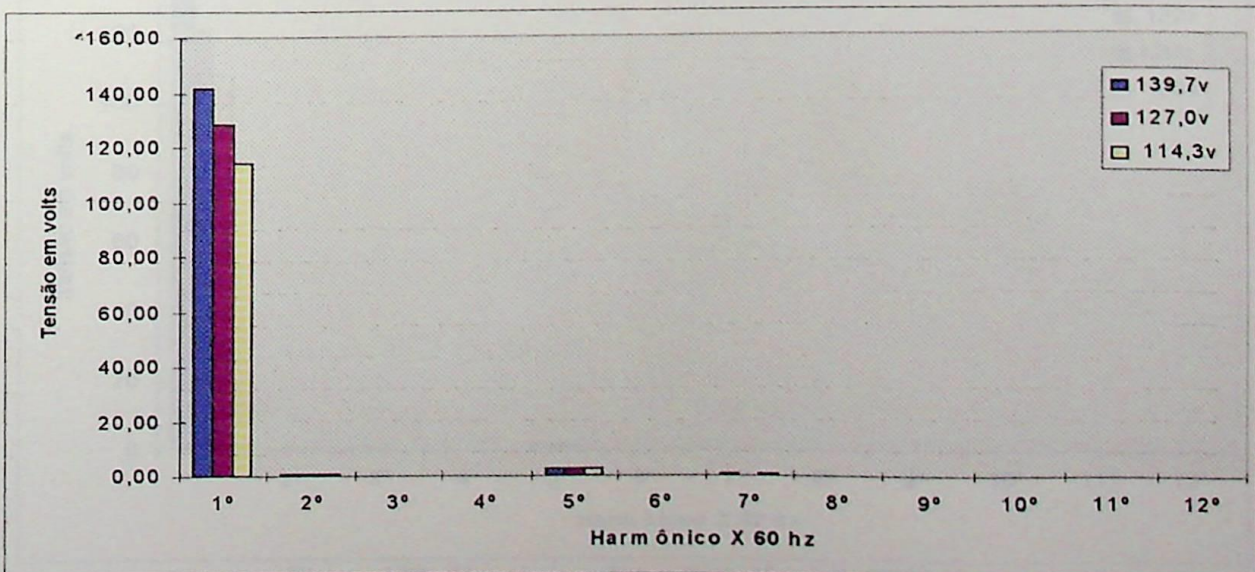


Figura A18 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIM22B

Tabela A19 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE18B

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,163	0,138	0,116	0,093	0,071	0,056	0,047	0,041	0,035	0,028	0,025	0,023
120v	0,175	0,146	0,116	0,086	0,062	0,051	0,046	0,040	0,033	0,026	0,025	0,024
108v	0,167	0,141	0,111	0,082	0,061	0,052	0,048	0,040	0,031	0,025	0,023	0,020

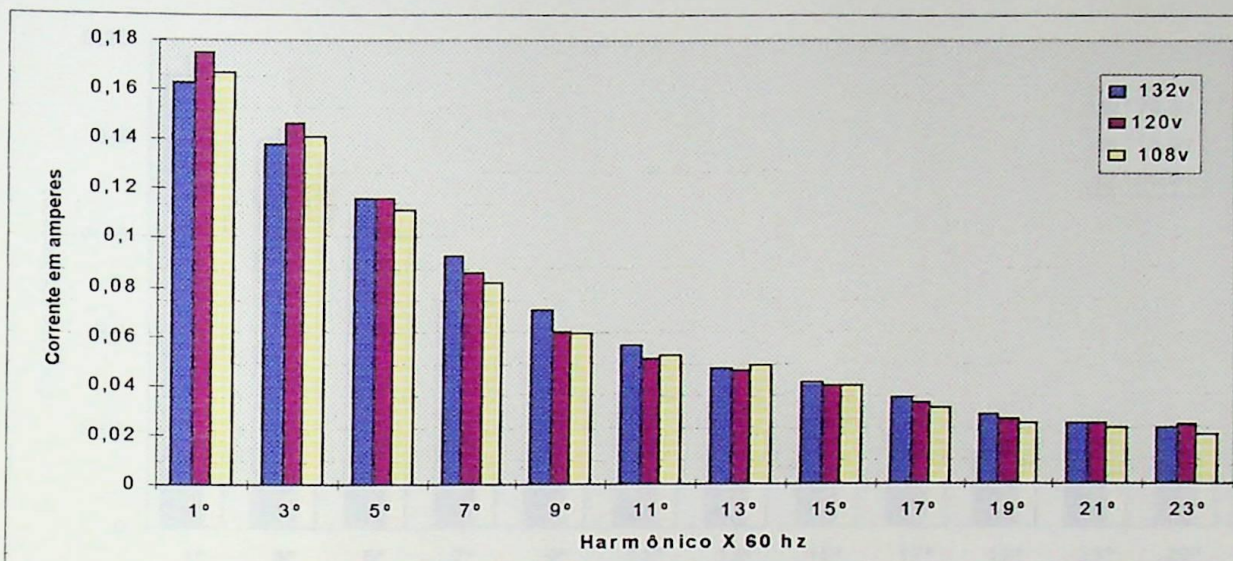


Figura A19 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE18B

Tabela A20 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE18B

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	133,70	0,61	0,37	0,16	1,44	0,00	0,27	0,00	0,17	0,00	0,21	0,00
120v	120,90	0,39	0,31	0,21	1,58	0,18	0,14	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
108v	108,60	0,58	0,23	0,18	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00

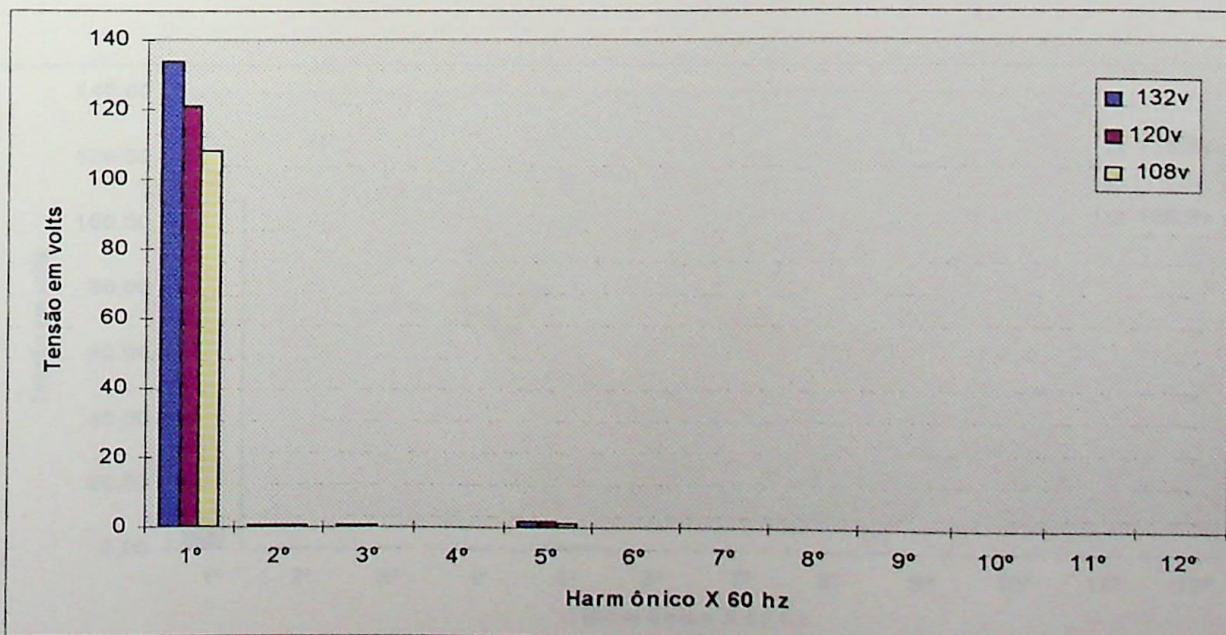


Figura A20 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE18B

Tabela A21 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE27

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
129,8v	0,235	0,201	0,159	0,117	0,084	0,070	0,065	0,058	0,049	0,040	0,035	0,033
118,0v	0,242	0,206	0,163	0,118	0,083	0,070	0,069	0,065	0,054	0,042	0,035	0,032
106,3v	0,223	0,191	0,151	0,109	0,080	0,068	0,064	0,056	0,044	0,033	0,027	0,024

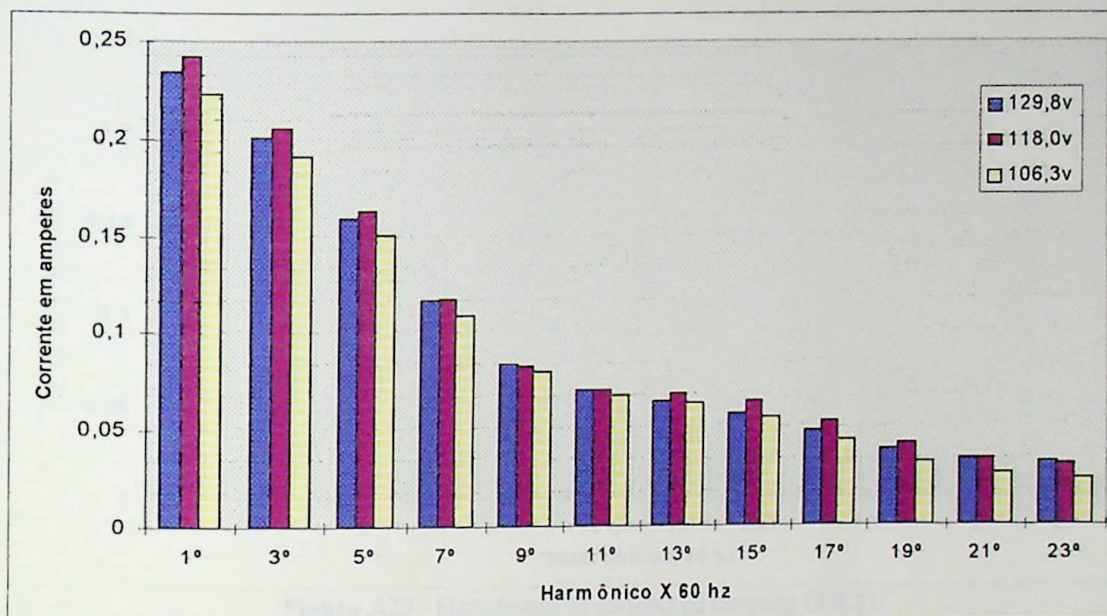


Figura A21 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE27

Tabela A22 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE27

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
129,8v	129,70	0,61	0,19	0,21	1,94	0,00	0,28	0,00	0,14	0,00	0,22	0,00
118,0v	117,80	0,56	0,29	0,28	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00
106,3v	106,40	0,46	0,23	0,20	1,43	0,00	0,22	0,00	0,12	0,00	0,21	0,00

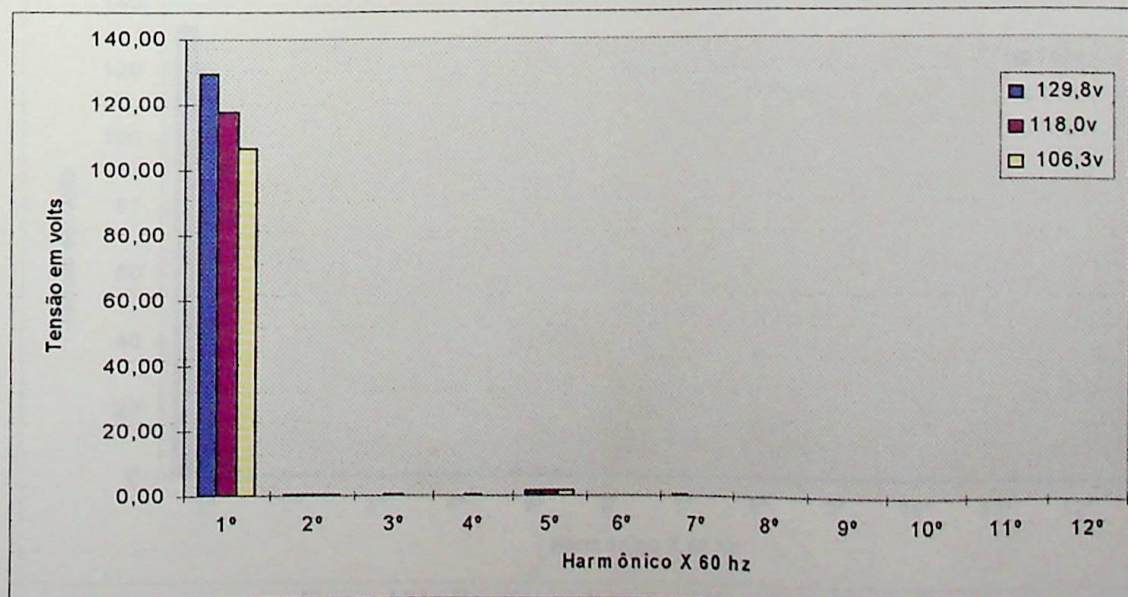


Figura A22 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE27

Tabela A23 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE23

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,208	0,177	0,132	0,086	0,059	0,049	0,041	0,029	0,019	0,017	0,017	0,014
120v	0,210	0,176	0,125	0,079	0,056	0,047	0,036	0,023	0,019	0,019	0,016	0,012
108v	0,214	0,176	0,121	0,073	0,053	0,046	0,033	0,022	0,021	0,019	0,014	0,011

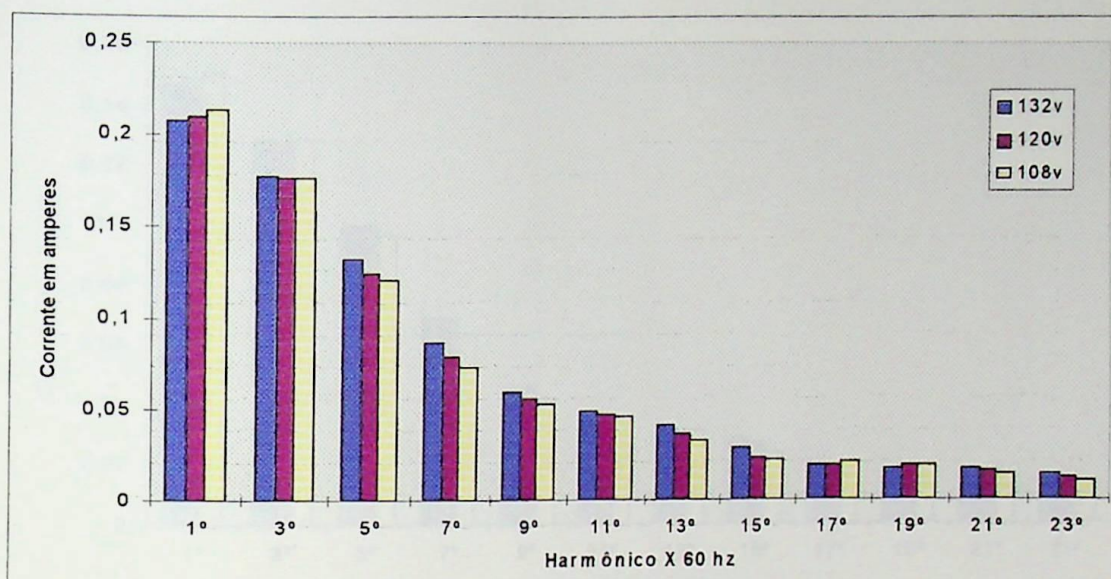


Figura A23 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE23

Tabela A24 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE23

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	133,40	0,56	0,00	0,21	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
120v	120,70	0,66	0,00	0,00	1,72	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
108v	109,10	0,56	0,00	0,25	1,45	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00

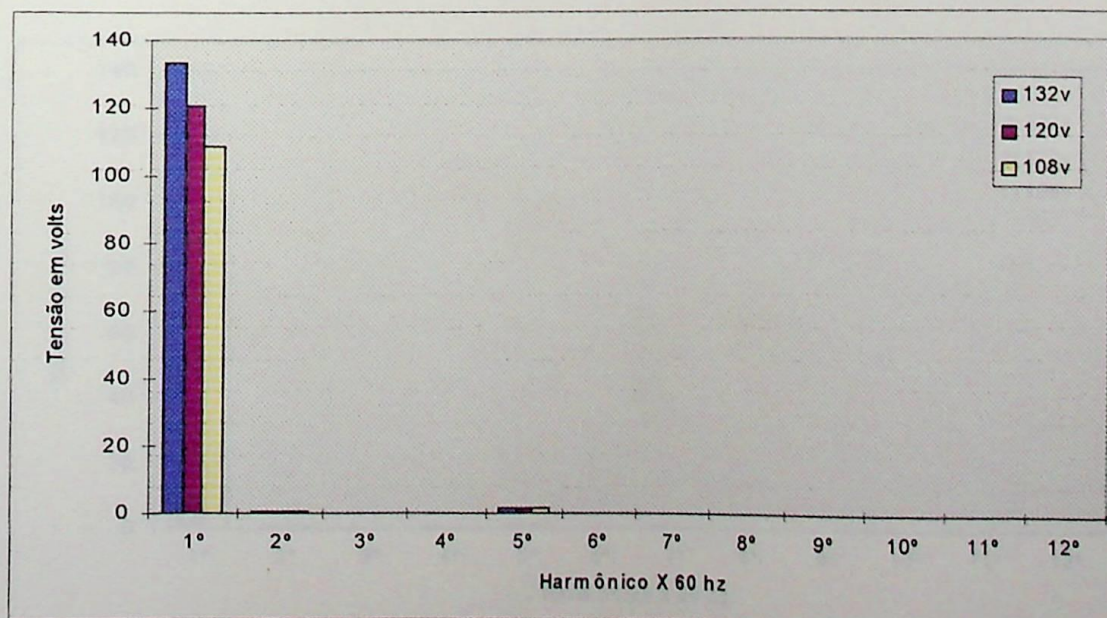


Figura A24 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE23

Tabela A25 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE15

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,147	0,129	0,100	0,069	0,046	0,037	0,034	0,029	0,021	0,015	0,013	0,012
120v	0,146	0,128	0,100	0,069	0,046	0,035	0,031	0,027	0,019	0,013	0,011	0,011
108v	0,151	0,129	0,097	0,064	0,042	0,035	0,031	0,023	0,016	0,013	0,012	0,010

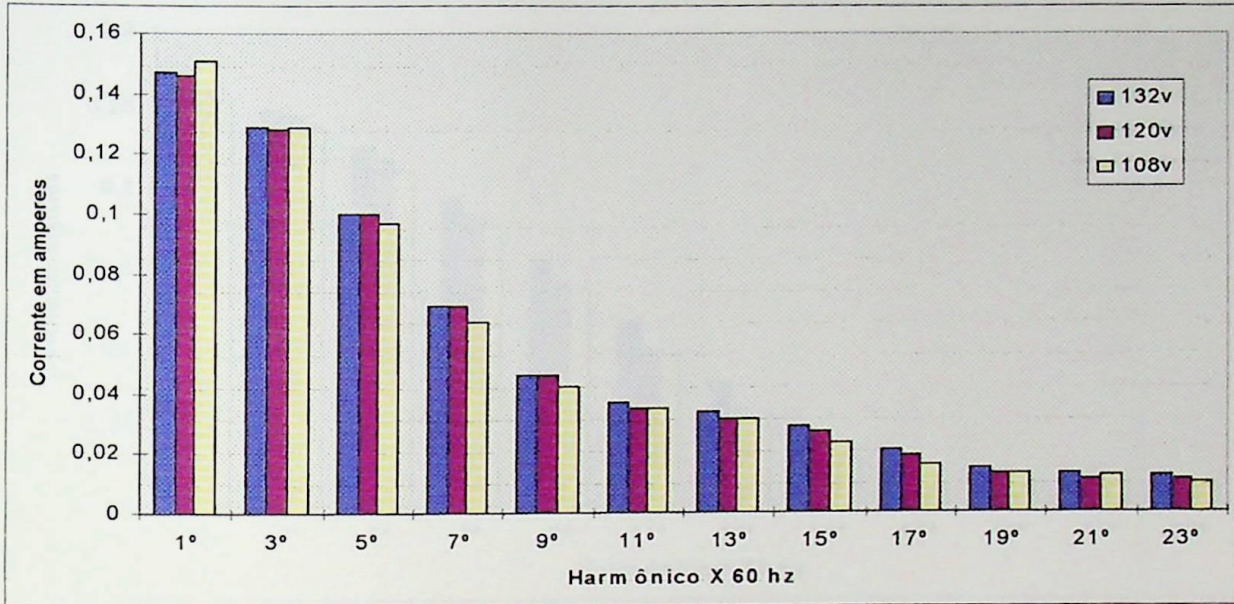


Figura A25 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE15

Tabela A26 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE15

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	132,90	0,59	0,00	0,35	1,91	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
120v	120,20	0,43	0,18	0,12	1,83	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
108v	108,40	0,49	0,00	0,21	1,60	0,11	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

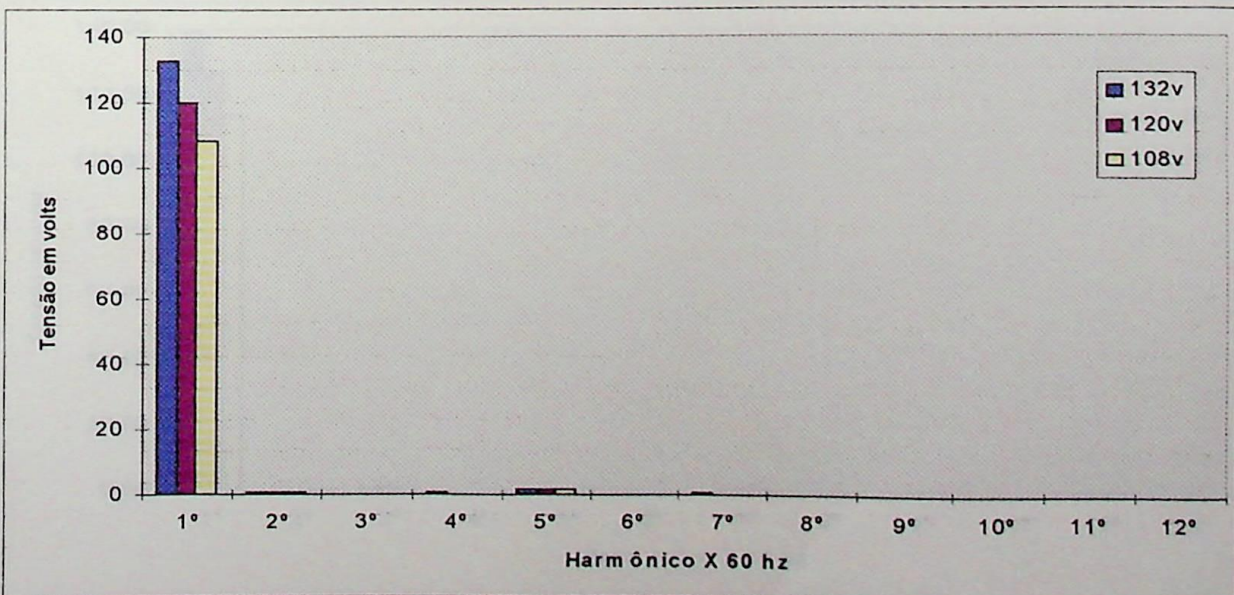


Figura A26 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE15

Tabela A27 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32A

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
139,7v	0,265	0,250	0,226	0,194	0,155	0,116	0,079	0,047	0,022	0,007	0,010	0,014
127,0v	0,262	0,246	0,218	0,183	0,141	0,099	0,062	0,031	0,009	0,006	0,011	0,010
114,3v	0,255	0,239	0,212	0,177	0,137	0,097	0,060	0,030	0,009	0,007	0,013	0,013

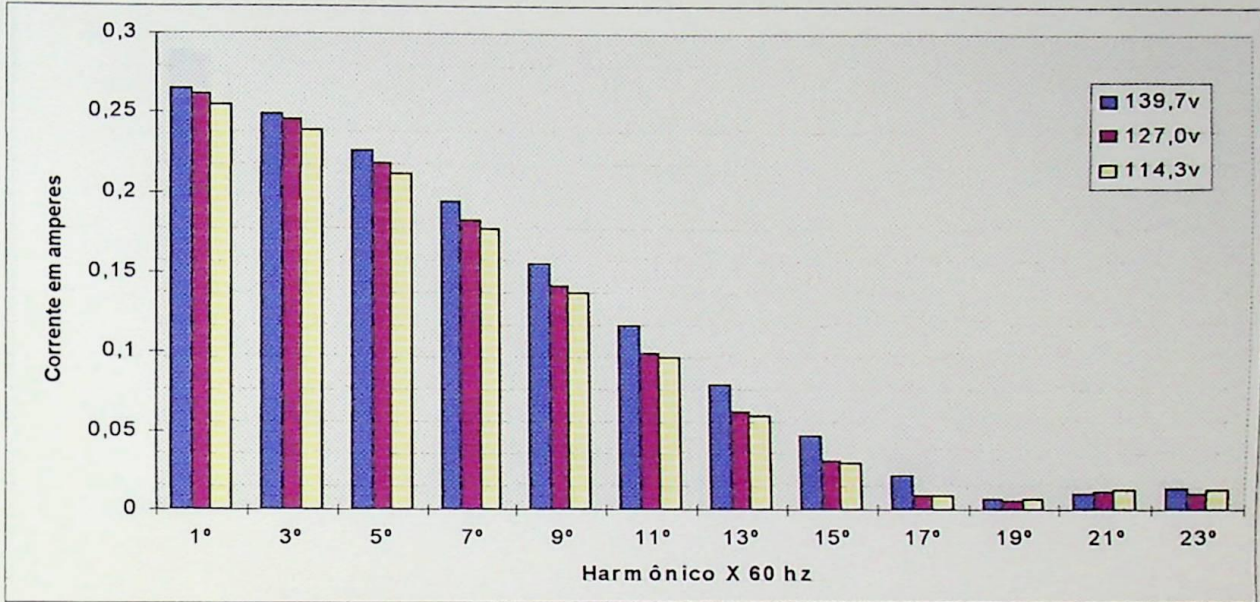


Figura A27 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32A

Tabela A28 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32A

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
139,7v	139,30	0,58	1,09	0,25	1,17	0,16	1,15	0,16	0,80	0,00	0,62	0,00
127,0v	127,40	0,49	0,98	0,20	0,83	0,00	1,21	0,13	0,75	0,00	0,55	0,00
114,3v	113,90	0,43	0,85	0,18	0,96	0,16	1,13	0,00	0,81	0,12	0,44	0,00

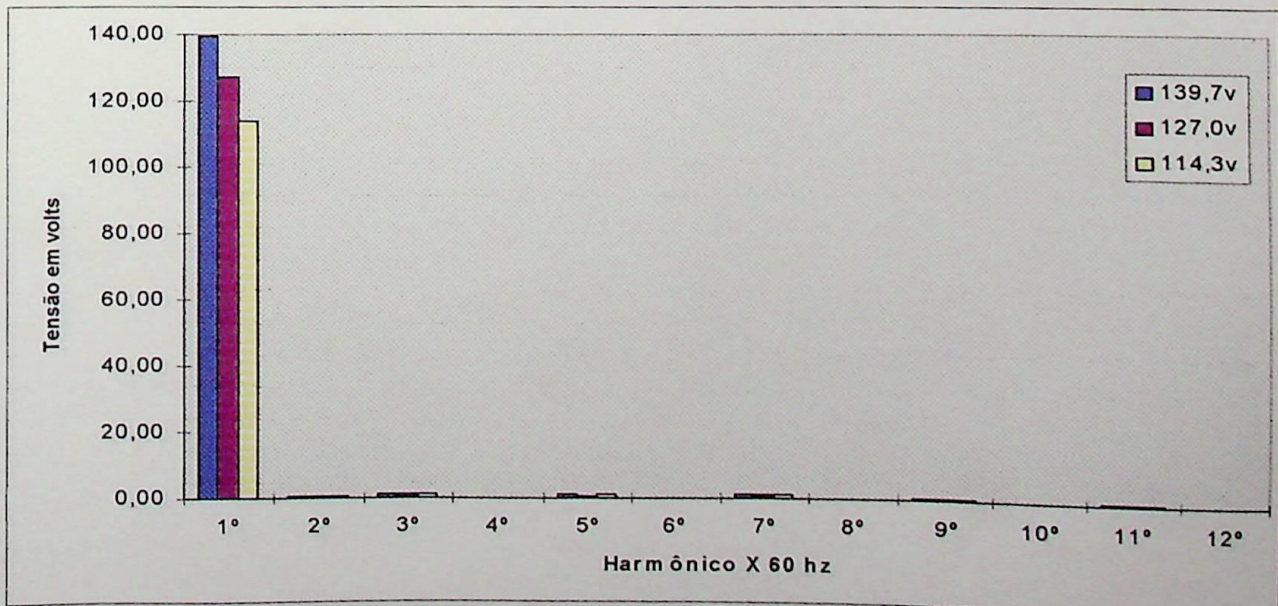


Figura A28 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32A

Tabela A29 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32B

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
139,7v	0,289	0,060	0,021	0,059	0,038	0,027	0,016	0,023	0,028	0,003	0,011	0,015
127,0v	0,287	0,066	0,017	0,057	0,042	0,036	0,011	0,024	0,028	0,007	0,009	0,011
114,3v	0,276	0,060	0,03	0,051	0,046	0,047	0,007	0,022	0,023	0,016	0,003	0,004

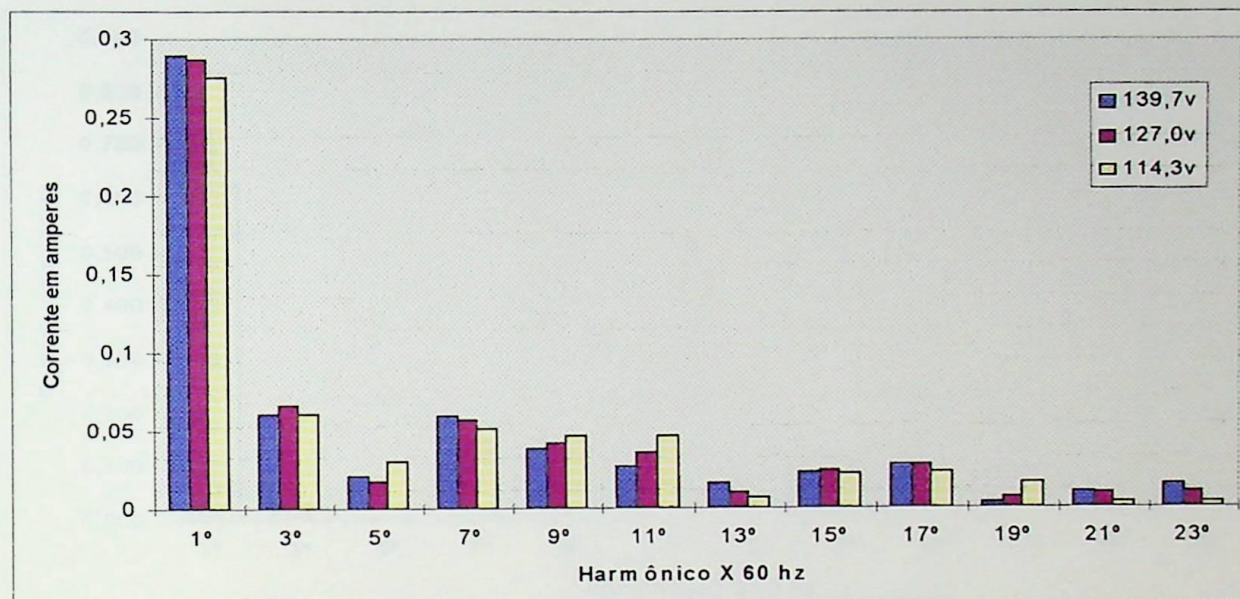


Figura A29 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32B

Tabela A30 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32B

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
139,7v	138,80	0,57	1,00	0,25	1,55	0,17	0,61	0,24	0,25	0,00	0,00	0,00
127,0v	127,10	0,54	0,79	0,18	1,49	0,00	0,59	0,19	0,20	0,17	0,00	0,00
114,3v	115,00	0,42	0,63	0,23	1,36	0,00	0,48	0,12	0,26	0,15	0,00	0,15

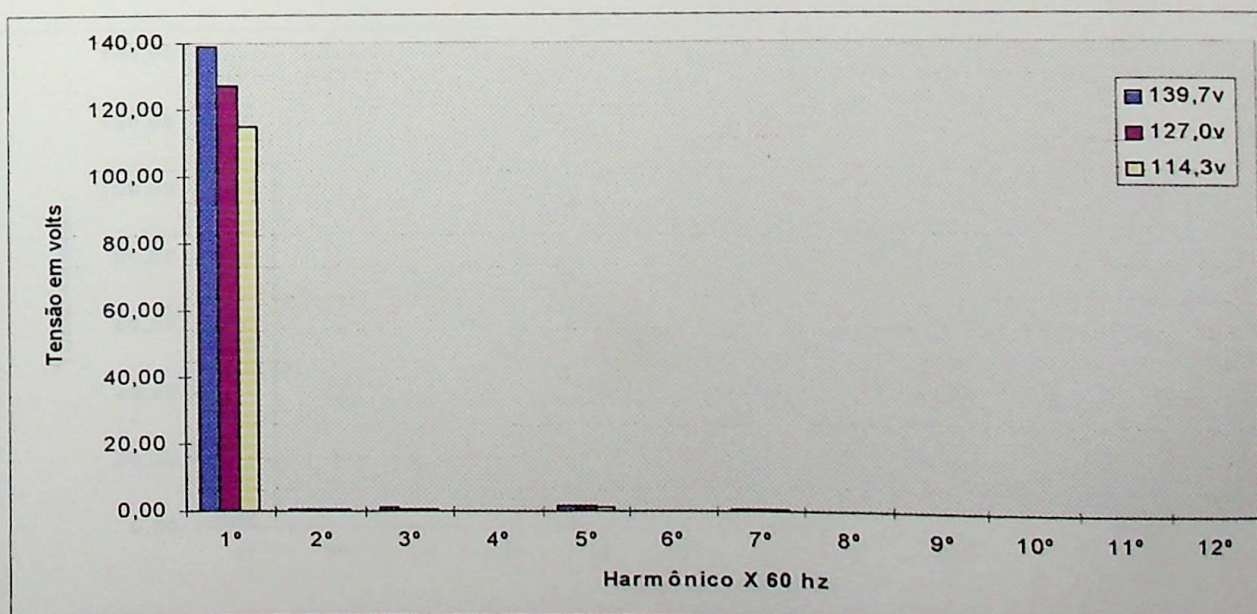


Figura A30 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32B

Tabela A31 - Harmônicos de corrente da lâmpada TMSR20

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
130v	0,822	0,043	0,004	0,005	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
118v	0,735	0,034	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
106v	0,632	0,026	0,002	0,004	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

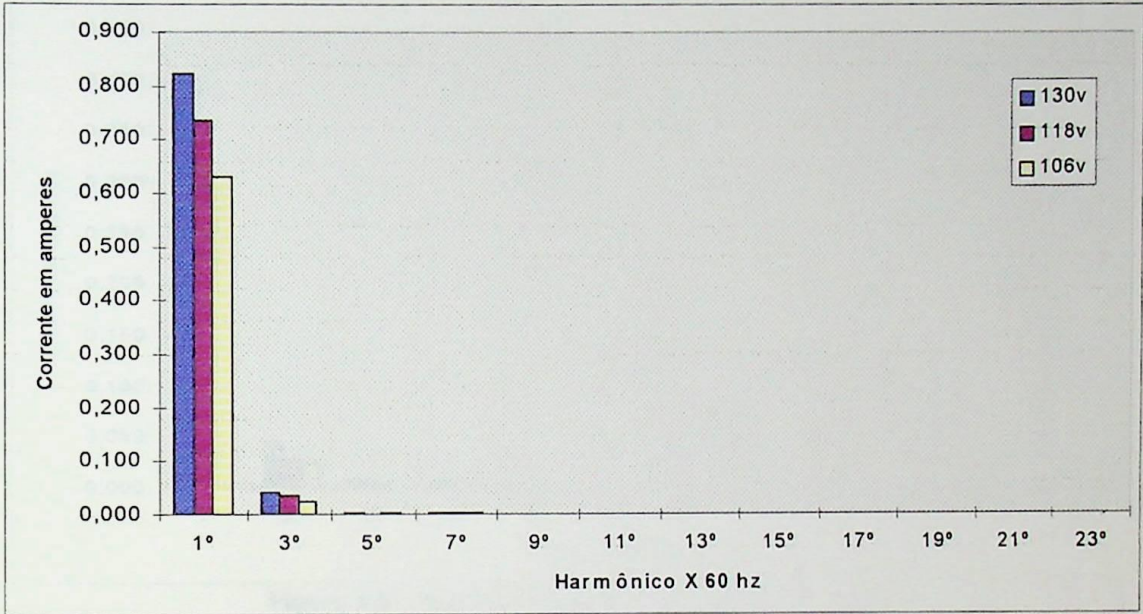


Figura A31 - Harmônicos de corrente da lâmpada TMSR20

Tabela A32 - Harmônicos de tensão da lâmpada TMSR20

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	130,19	0,37	0,43	0,00	1,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00
120v	120,00	0,25	0,44	0,00	1,17	0,00	0,39	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00
108v	107,56	0,17	0,42	0,18	0,99	0,00	0,39	0,12	0,13	0,11	0,30	0,00

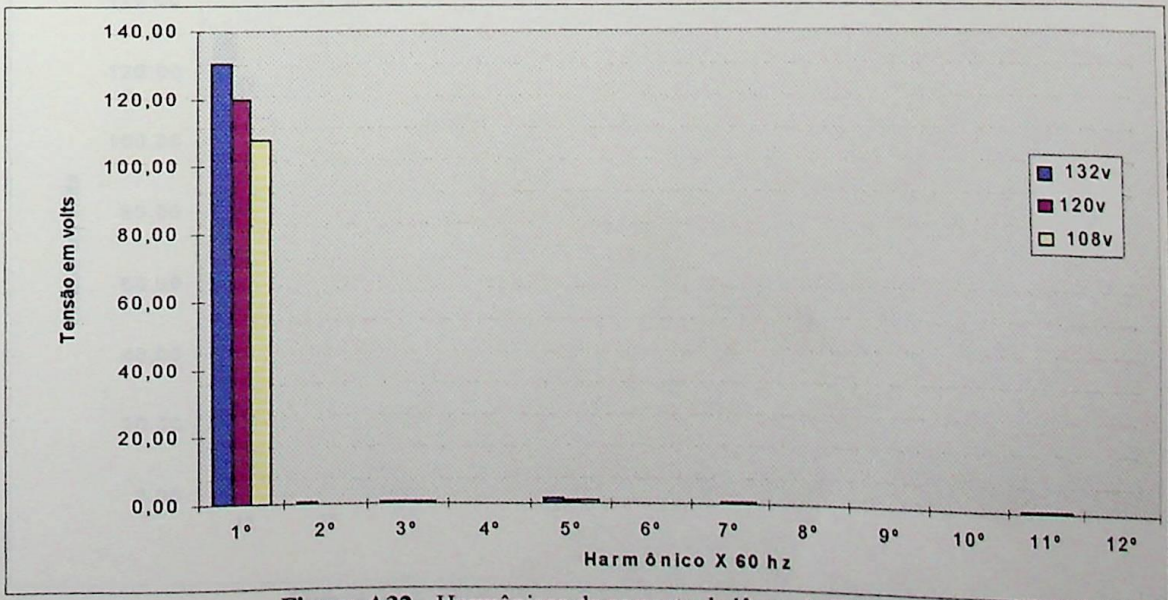


Figura A32 - Harmônicos de corrente da lâmpada TMSR20

Tabela A33 - Harmônicos de corrente da lâmpada TMSC20

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
130v	0,405	0,047	0,008	0,006	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
118v	0,313	0,030	0,003	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
106v	0,248	0,025	0,004	0,003	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

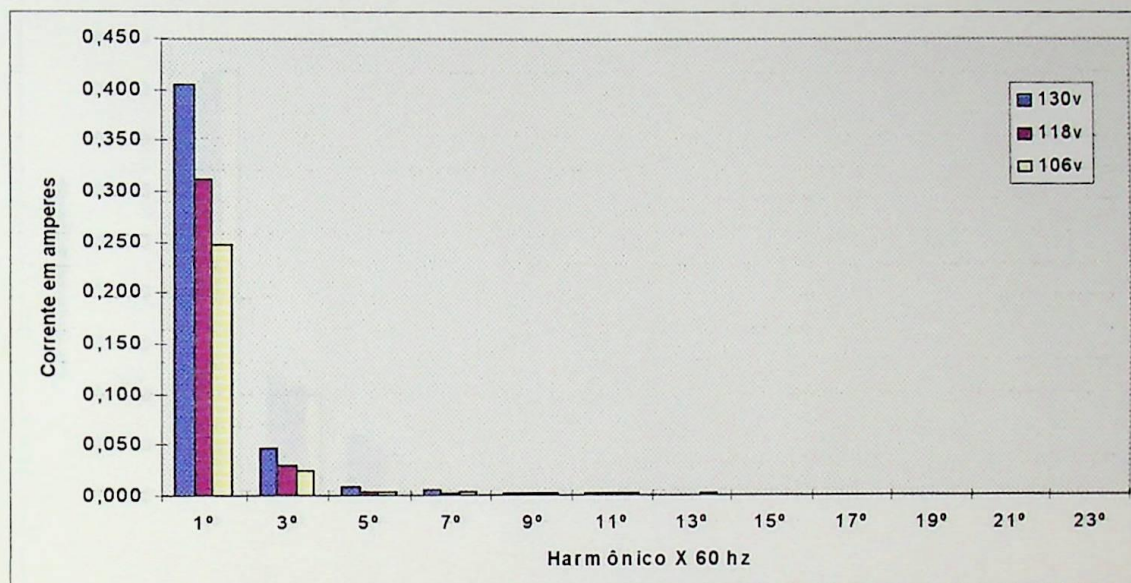


Figura A33 - Harmônicos de corrente da lâmpada TMSC20

Tabela A34 - Harmônicos de tensão da lâmpada TMSC20

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	130,95	0,24	0,56	0,00	1,30	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00
120v	118,32	0,00	0,50	0,00	1,45	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00
108v	106,93	0,00	0,31	0,12	1,15	0,12	0,31	0,00	0,00	0,12	0,42	0,00

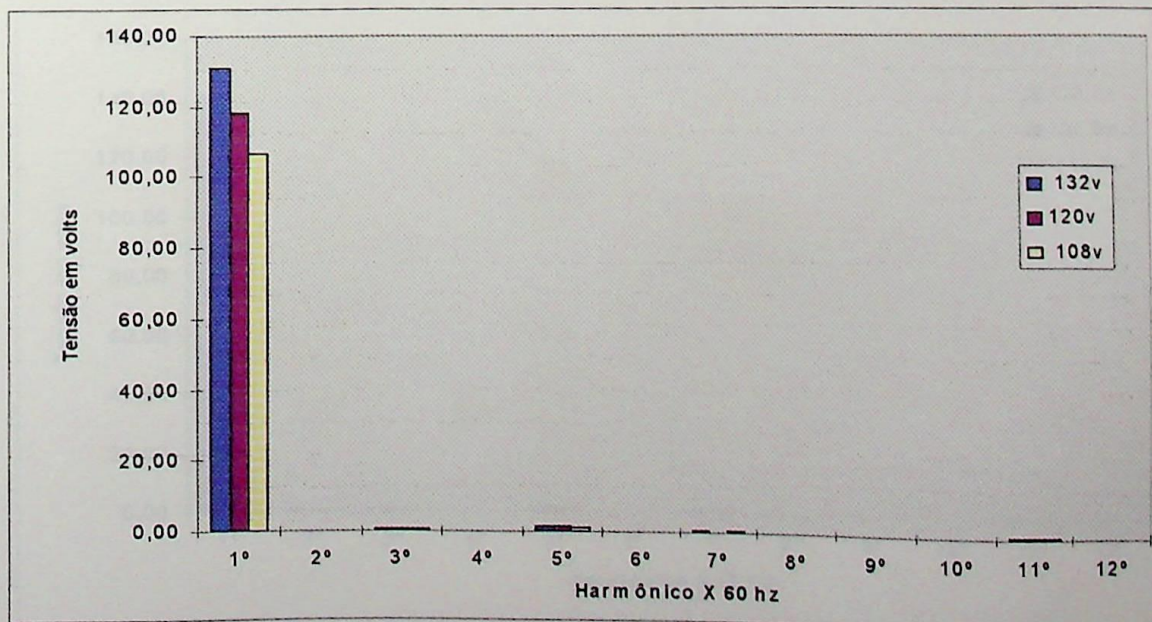


Figura A34 - Harmônicos de tensão da lâmpada TMSC20

Tabela A35 - Harmônicos de corrente da lâmpada TMDR40

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
242v	0,406	0,118	0,060	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
220v	0,414	0,109	0,049	0,009	0,006	0,004	0,003	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000
198v	0,420	0,100	0,040	0,009	0,005	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001

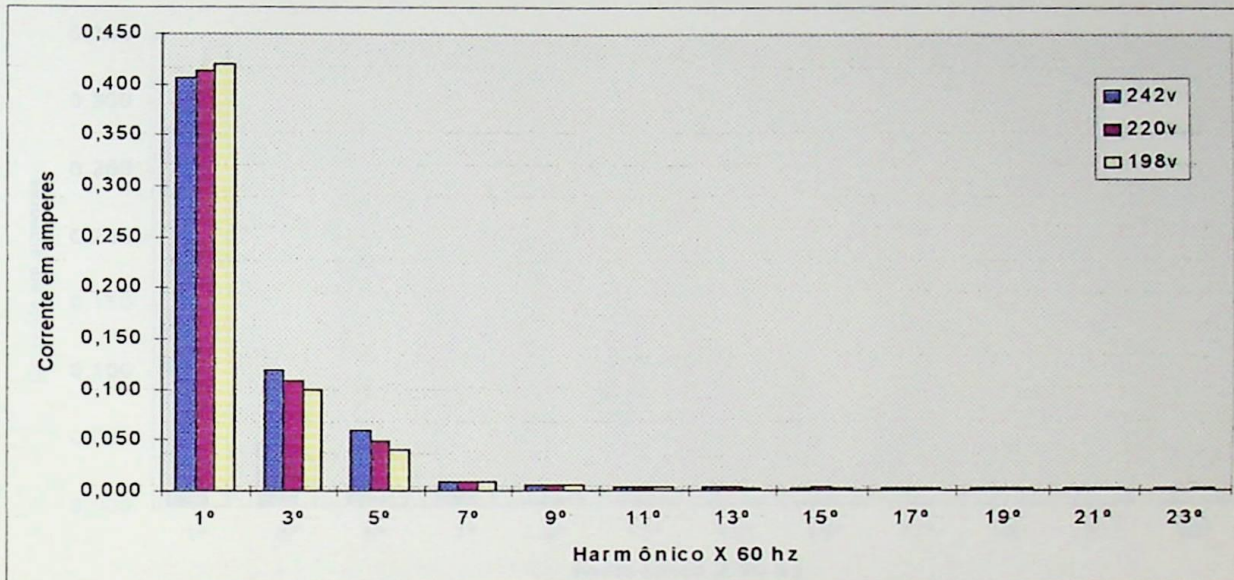


Figura A35 - Harmônicos de corrente da lâmpada TMDR40

Tabela A36 - Harmônicos de tensão da lâmpada TMDR40

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
139,7v	140,40	0,57	0,62	0,20	2,13	0,00	0,44	0,00	0,43	0,00	0,41	0,00
127,0v	128,10	0,66	0,37	0,24	2,16	0,00	0,38	0,00	0,28	0,00	0,24	0,00
114,3v	114,60	0,53	0,32	0,15	2,00	0,00	0,38	0,00	0,27	0,00	0,25	0,00

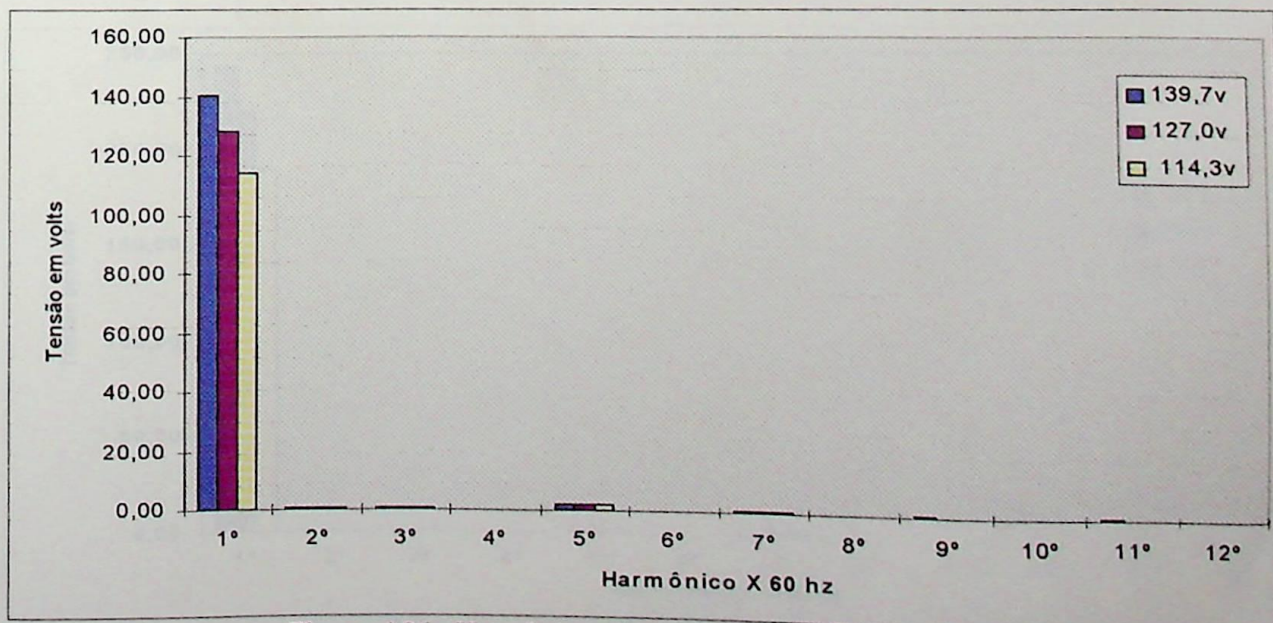


Figura A36 - Harmônicos de tensão da lâmpada TMDR40

Tabela A37 - Harmônicos de corrente da lâmpada TEDR32

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
242v	0,282	0,048	0,009	0,013	0,004	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002
220v	0,316	0,039	0,007	0,012	0,005	0,004	0,001	0,003	0,003	0,000	0,001	0,001
198v	0,342	0,034	0,007	0,012	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003

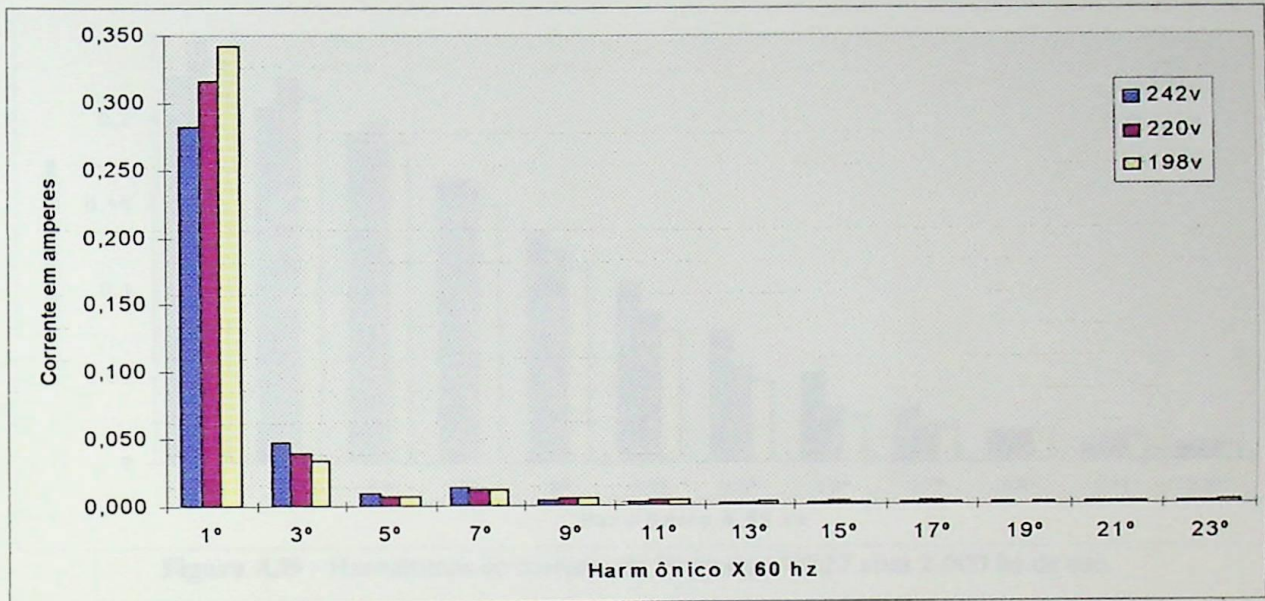


Figura A37 - Harmônicos de corrente da lâmpada TEDR32

Tabela A38 - Harmônicos de tensão da lâmpada TEDR32

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
242v	243,57	0,55	0,99	0,00	3,07	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00
220v	220,00	0,48	0,78	0,00	2,82	0,00	1,36	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00
198v	190,08	0,00	0,83	0,00	2,28	0,00	1,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

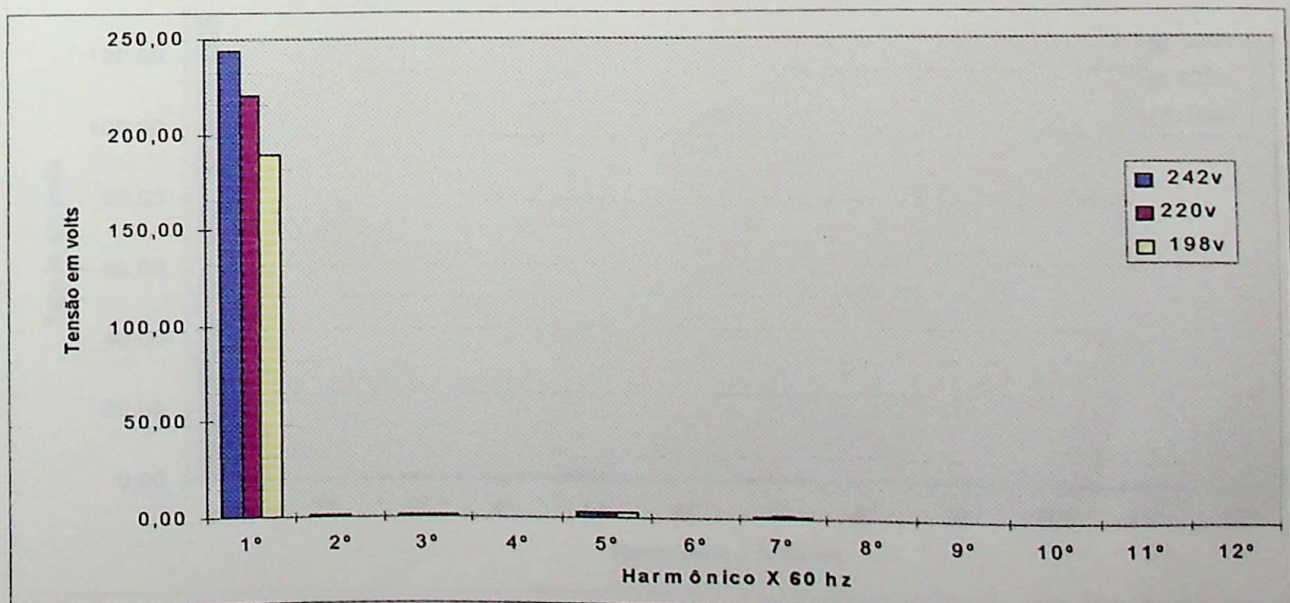


Figura A38 - Harmônicos de tensão da lâmpada TEDR32

Tabela A39 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE27 com 2.000 hs de acendimento

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,225	0,207	0,191	0,165	0,135	0,105	0,077	0,051	0,031	0,017	0,011	0,010
120v	0,246	0,224	0,199	0,164	0,125	0,087	0,055	0,031	0,020	0,017	0,016	0,011
108v	0,234	0,212	0,187	0,151	0,113	0,076	0,047	0,027	0,019	0,016	0,014	0,009

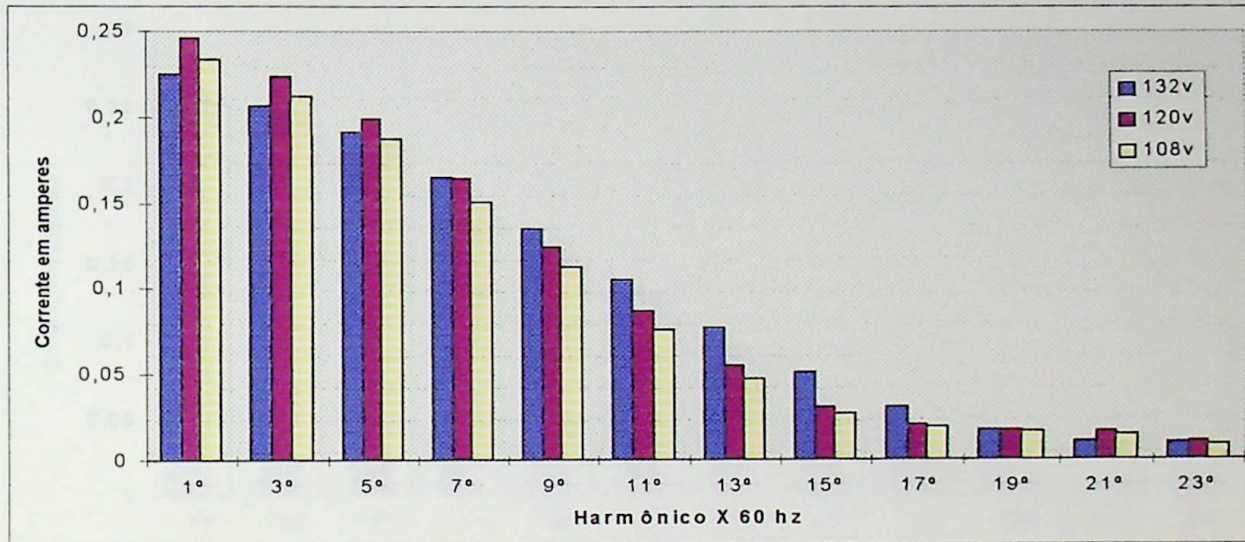


Figura A39 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE27 com 2.000 hs de uso.

Tabela A40 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE27 com 2.000 hs de acendimento

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	132,05	0,14	0,75	0,00	2,74	0,00	1,16	0,00	0,78	0,00	0,34	0,00
120v	120,18	0,00	0,89	0,00	2,44	0,00	1,01	0,00	0,71	0,00	0,43	0,00
108v	108,74	0,18	0,80	0,00	2,07	0,00	0,97	0,00	0,68	0,00	0,41	0,00

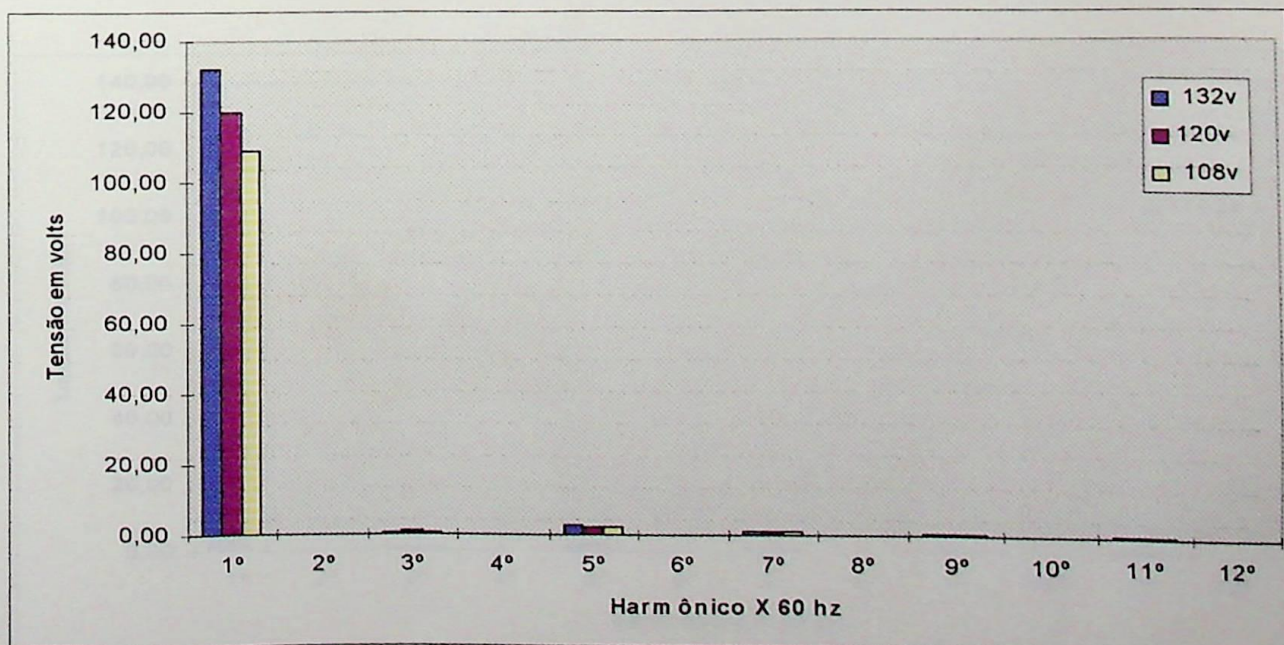


Figura A40 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE27 com 2.000 hs de uso.

Tabela A41 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32A com 2.000 hs de acendimento

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
139,7v	0,255	0,244	0,224	0,197	0,165	0,131	0,096	0,065	0,037	0,017	0,007	0,012
127,0v	0,263	0,249	0,229	0,200	0,167	0,130	0,095	0,063	0,035	0,015	0,007	0,011
114,3v	0,253	0,240	0,217	0,186	0,150	0,114	0,078	0,047	0,022	0,007	0,009	0,012

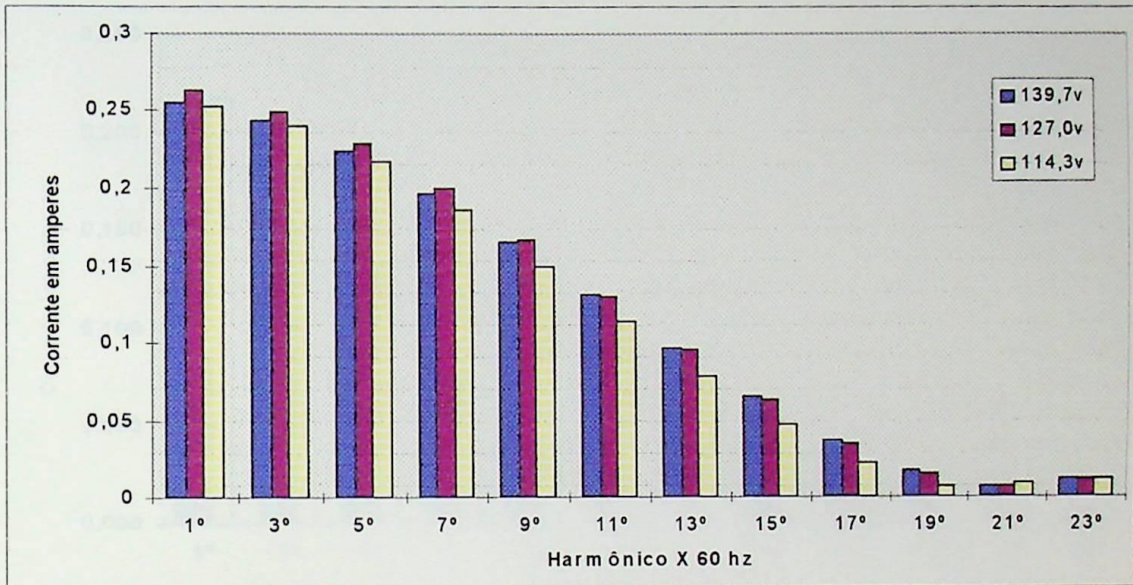


Figura A41 - Harmônicos de corrente da lâmpada CIE32A com 2.000 hs de uso.

Tabela A42 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32A com 2.000 hs de acendimento

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
139,7v	138,97	0,25	0,66	0,00	1,75	0,00	0,34	0,00	0,98	0,00	0,89	0,00
127,0v	126,82	0,00	0,67	0,00	2,08	0,00	0,33	0,00	1,01	0,00	0,93	0,00
114,3v	114,16	0,22	0,67	0,00	1,55	0,00	0,42	0,00	0,88	0,00	0,80	0,00

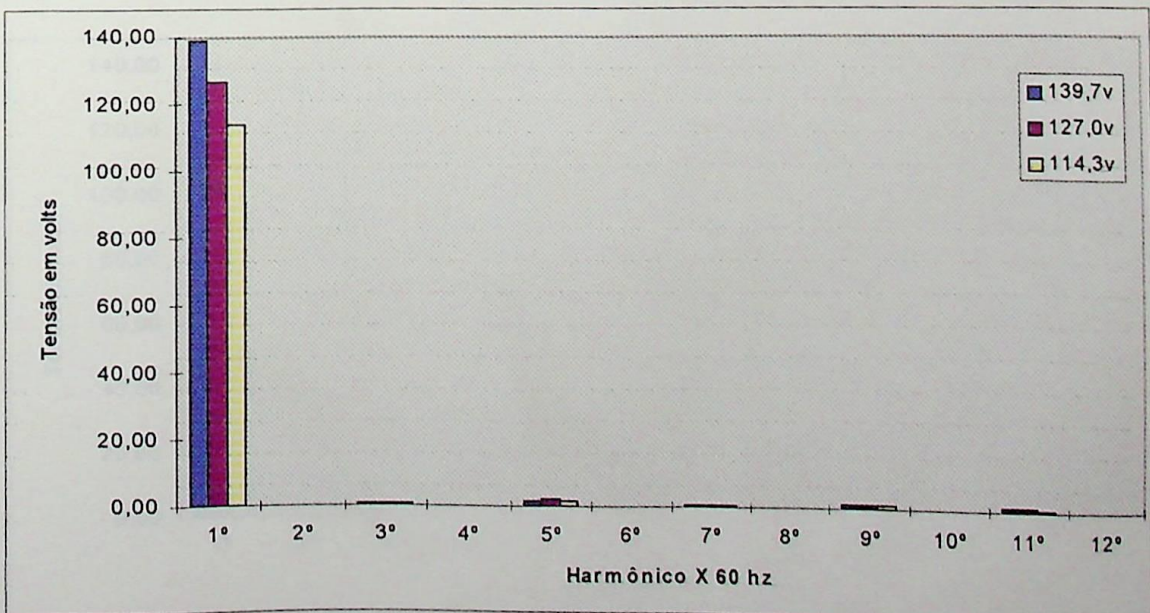


Figura A42 - Harmônicos de tensão da lâmpada CIE32A com 2.000 hs de uso.

Tabela A43 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE23 com 2.000 hs de acendimento

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,210	0,182	0,141	0,093	0,050	0,027	0,029	0,030	0,025	0,016	0,009	0,008
120v	0,213	0,182	0,132	0,078	0,036	0,028	0,033	0,030	0,019	0,010	0,008	0,008
108v	0,218	0,184	0,133	0,076	0,032	0,024	0,030	0,026	0,014	0,006	0,008	0,008

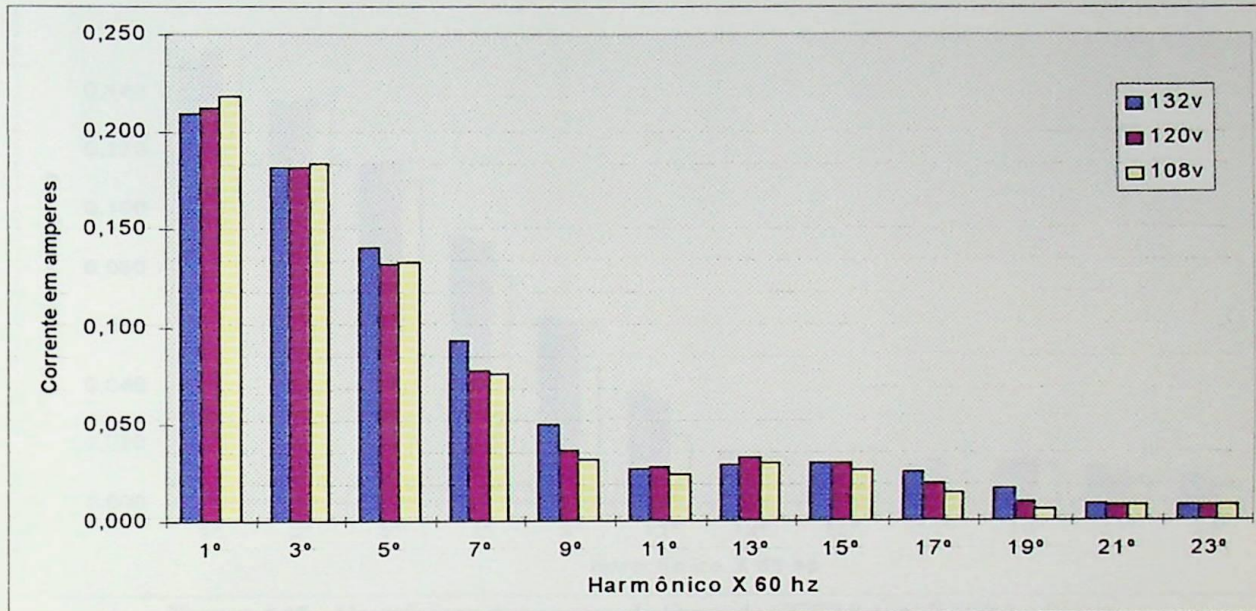


Figura A43 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE23 com 2.000 hs de uso.

Tabela A44 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE23 com 2.000 hs de acendimento

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	131,49	0,21	0,86	0,00	1,99	0,00	0,81	0,00	0,20	0,00	0,28	0,00
120v	120,09	0,00	0,89	0,00	1,72	0,00	0,90	0,00	0,16	0,00	0,25	0,00
108v	108,00	0,17	0,86	0,00	2,41	0,00	1,04	0,00	0,15	0,00	0,32	0,00

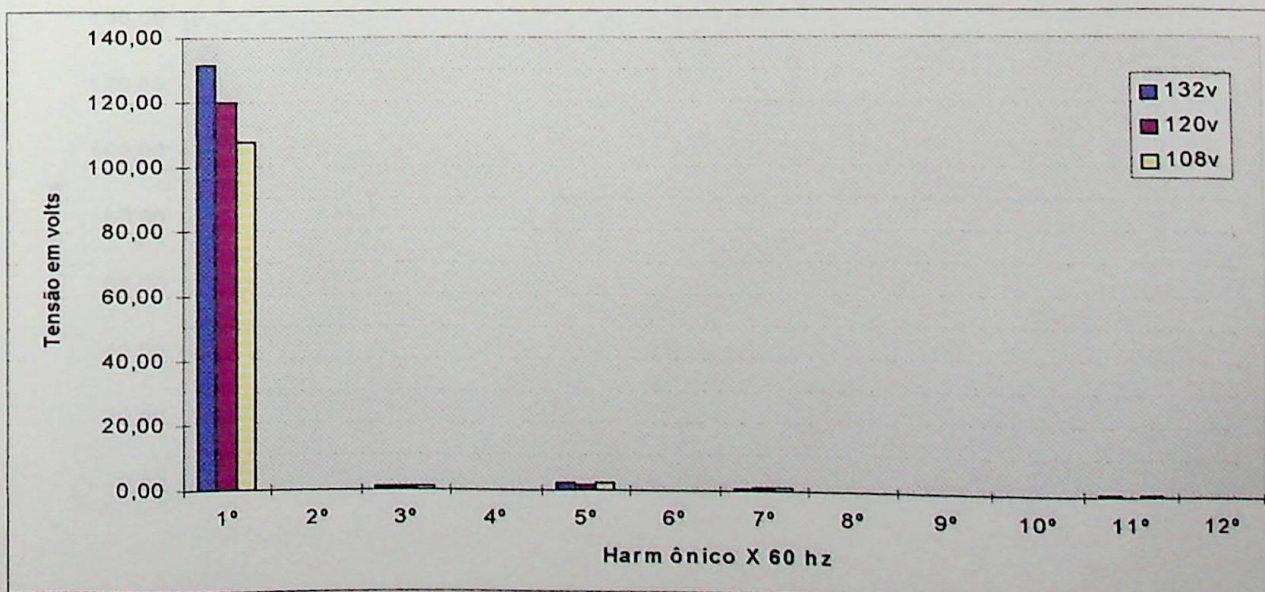


Figura A44 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE23 com 2.000 hs de uso.

Tabela A45 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE15 com 2.000 hs de acendimento

	1°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°
132v	0,150	0,136	0,116	0,091	0,063	0,038	0,018	0,011	0,013	0,014	0,012	0,009
120v	0,154	0,137	0,116	0,089	0,061	0,035	0,017	0,013	0,015	0,015	0,011	0,007
108v	0,154	0,136	0,110	0,077	0,046	0,023	0,016	0,019	0,018	0,013	0,008	0,005

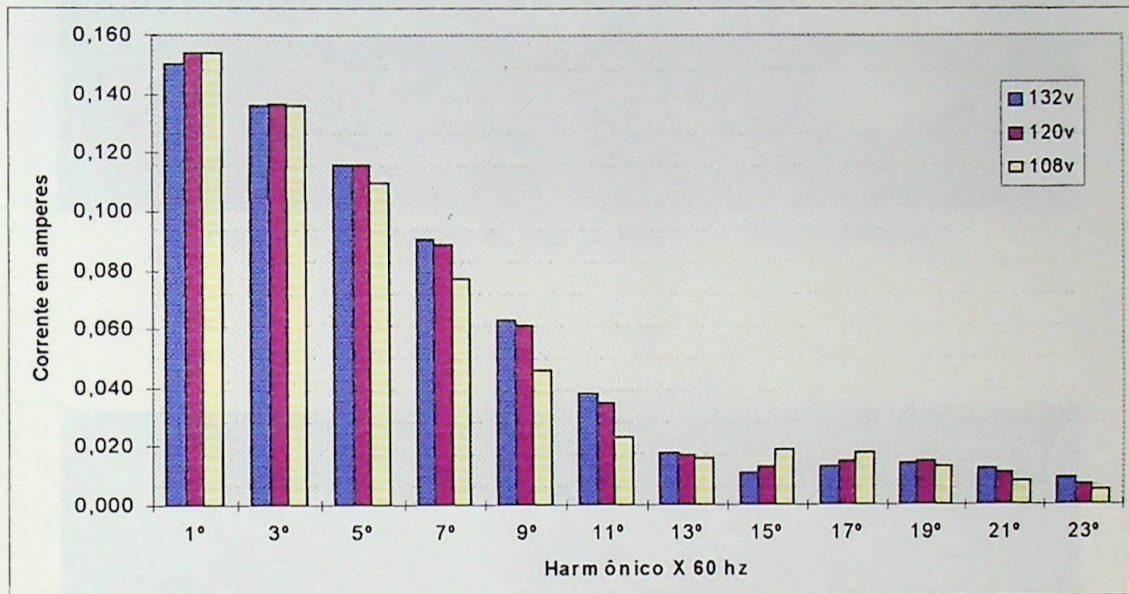


Figura A45 - Harmônicos de corrente da lâmpada COE15 com 2.000 hs de uso

Tabela A46 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE15 com 2.000 hs de acendimento

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
132v	131,82	0,00	0,68	0,00	1,92	0,00	0,82	0,00	0,35	0,00	0,20	0,00
120v	119,14	0,19	0,72	0,00	2,40	0,00	0,89	0,00	0,36	0,00	0,23	0,00
108v	107,88	0,16	0,68	0,00	1,63	0,00	0,70	0,00	0,27	0,00	0,21	0,00

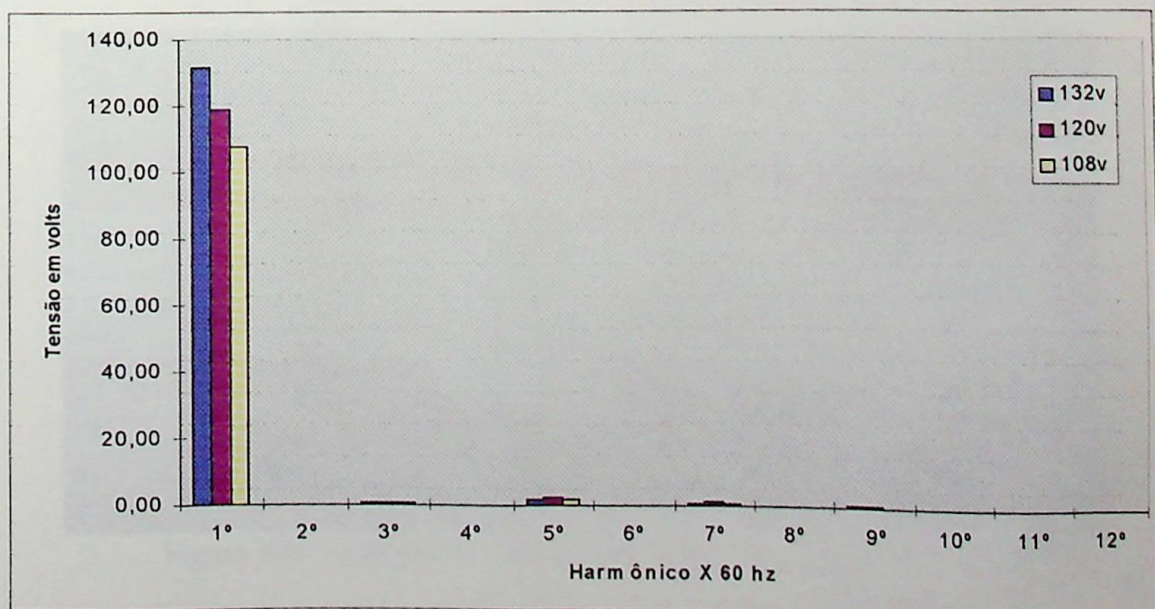


Figura A46 - Harmônicos de tensão da lâmpada COE15 com 2.000 hs de uso.

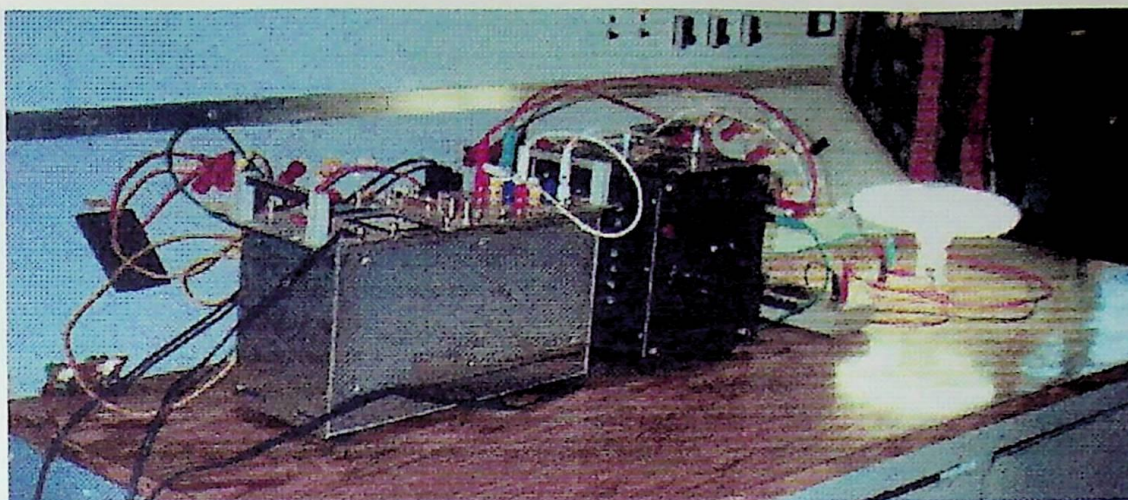


Figura A47 - Análise de uma lâmpada fluorescente circular

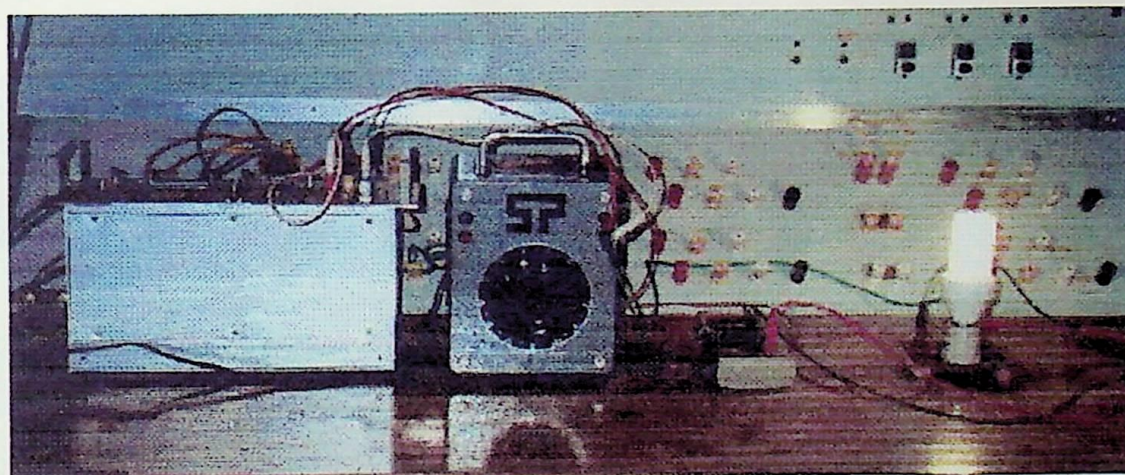


Figura A48 - Análise de uma lâmpada fluorescente compacta

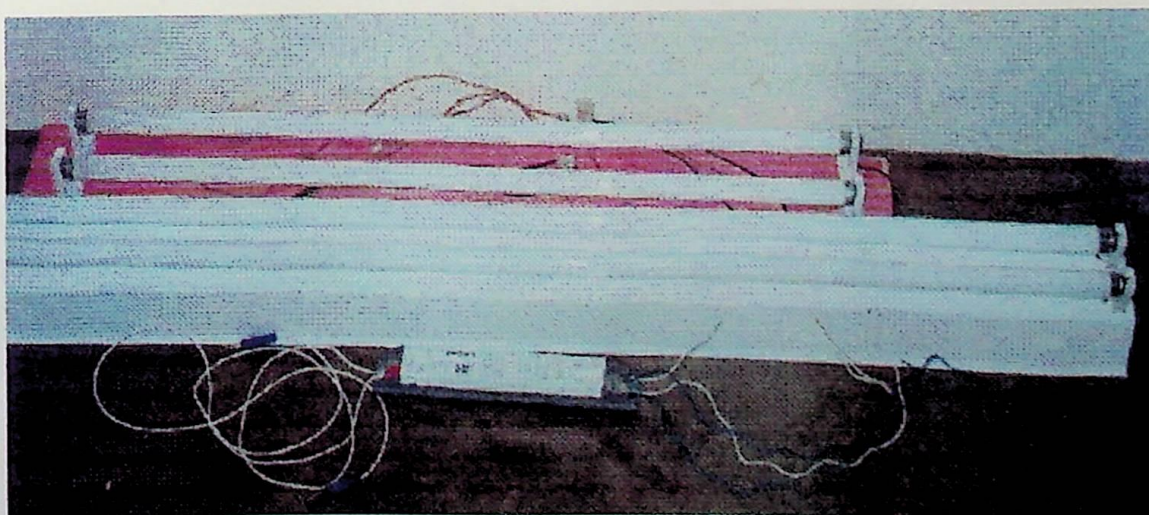


Figura A49 - Lâmpadas fluorescentes tubular com reator eletrônico

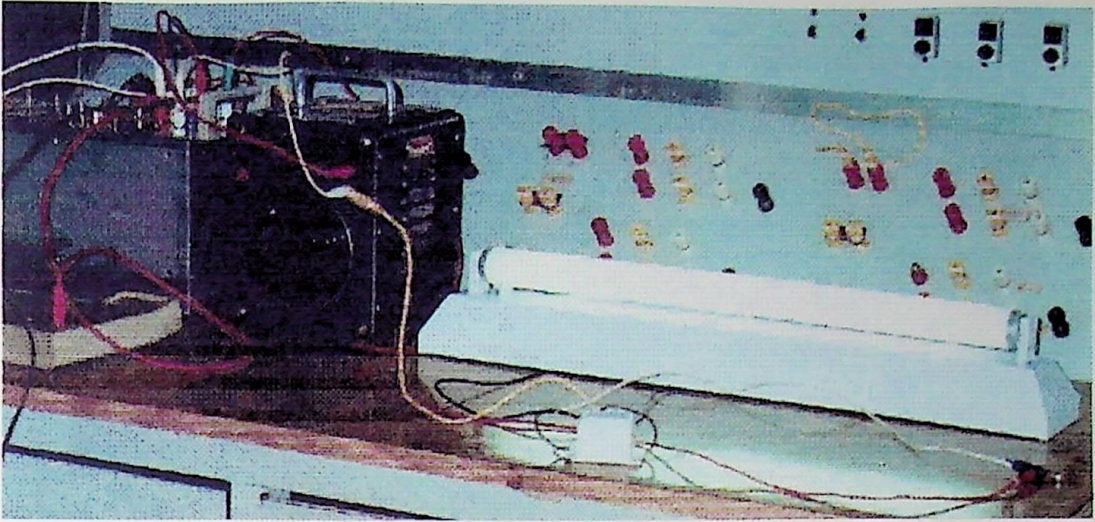


Figura A50 - Análise de uma lâmpada fluorescente tubular com reator convencional



Figura A51 - Lâmpadas fluorescentes compacta e circular analisadas

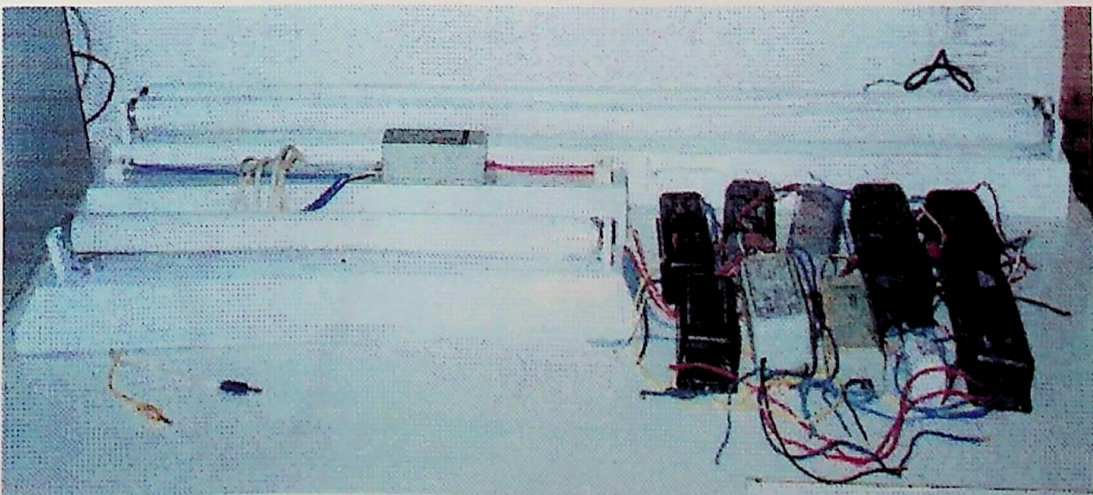


Figura A52 - Lâmpadas fluorescentes tubulares e reatores analisados

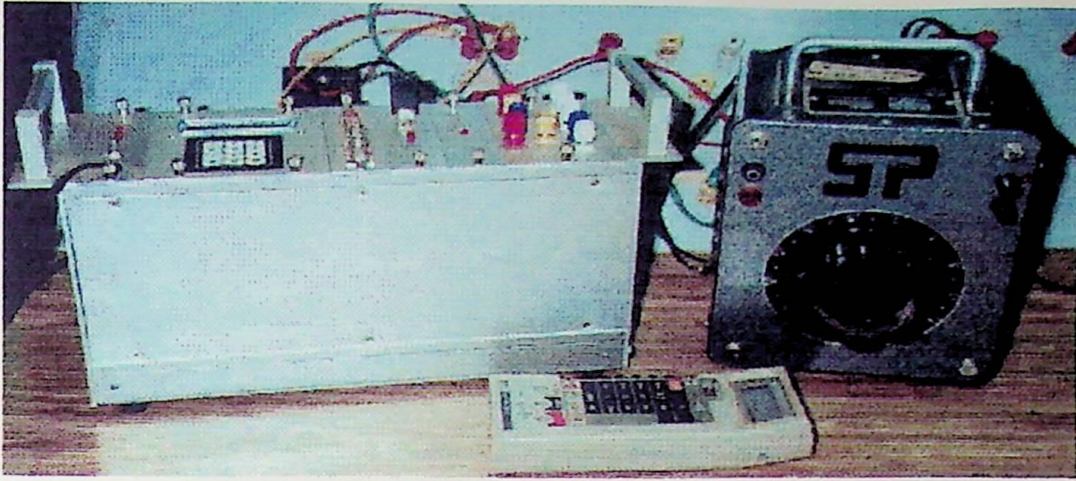


Figura A53 - Aparelhos de medição utilizados

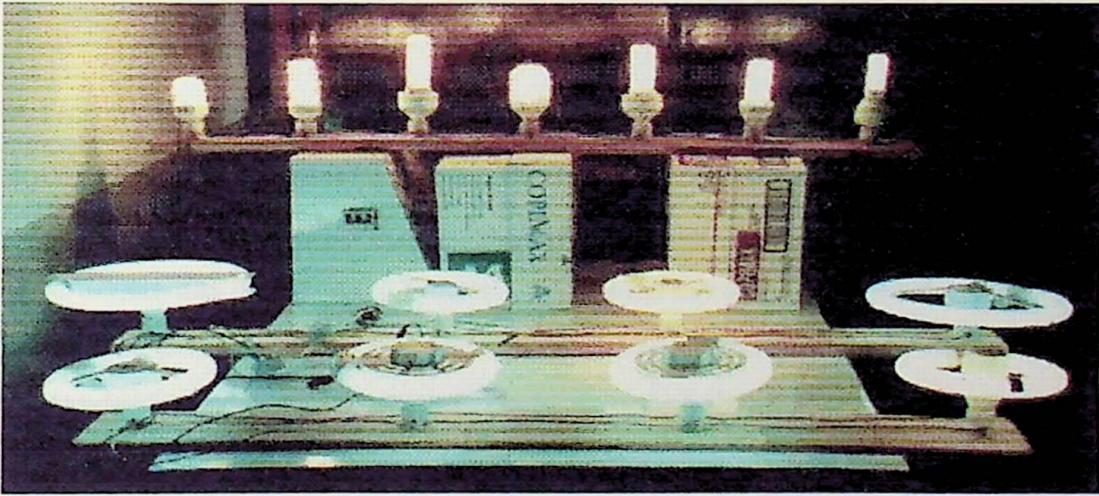


Figura A54 - Ensaio de vida útil da lampadas

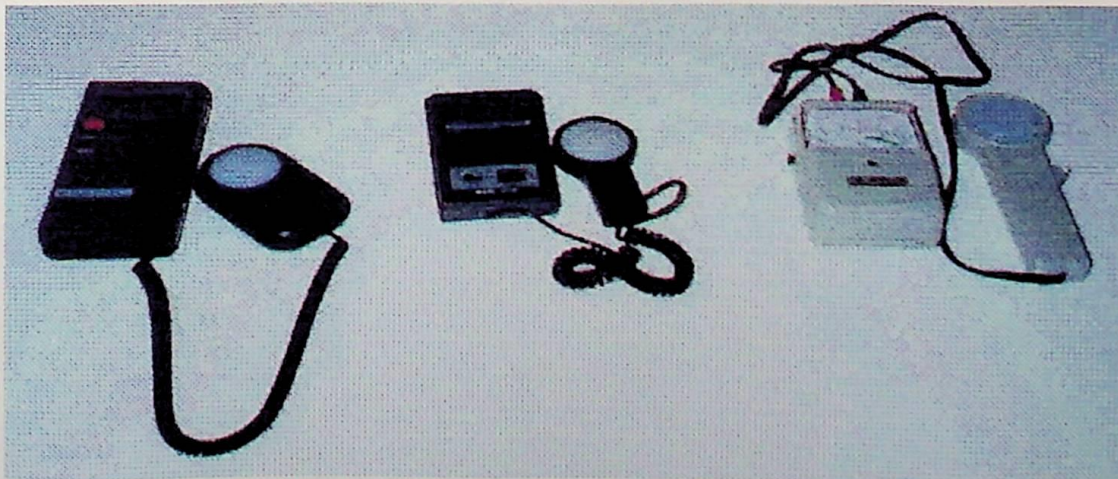


Figura A55 - Luxímetros para medição do fluxo luminoso

ANEXO B

Neste anexo estão apresentados alguns resultados obtidos do programa de incentivo para utilização de lâmpadas eficientes, realizado pela Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL.

As Figuras B1 a B40 apresentam as curvas de carga de alguns consumidores ao longo de um dia, os valores foram obtidos através de um questionário de posse e hábitos de consumo de equipamentos elétricos. Nestas curvas estão separadas as cargas de iluminação, para verificar a influência das lâmpadas, e também, separadas em dias úteis e não úteis.

As Figuras B41 a B52 apresentam os resultados obtidos através das substituições de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas de baixo e alto fator de potência.

As Figuras B53 a B58 apresentam dados referentes ao transformador de distribuição que alimentava estes consumidores.

As Figuras B41 a B58 apresentam os valores médios obtidos em planilhas do Excel, das medições realizadas com lâmpadas incandescentes e fluorescentes, com reatores de baixo e alto fator de potência.

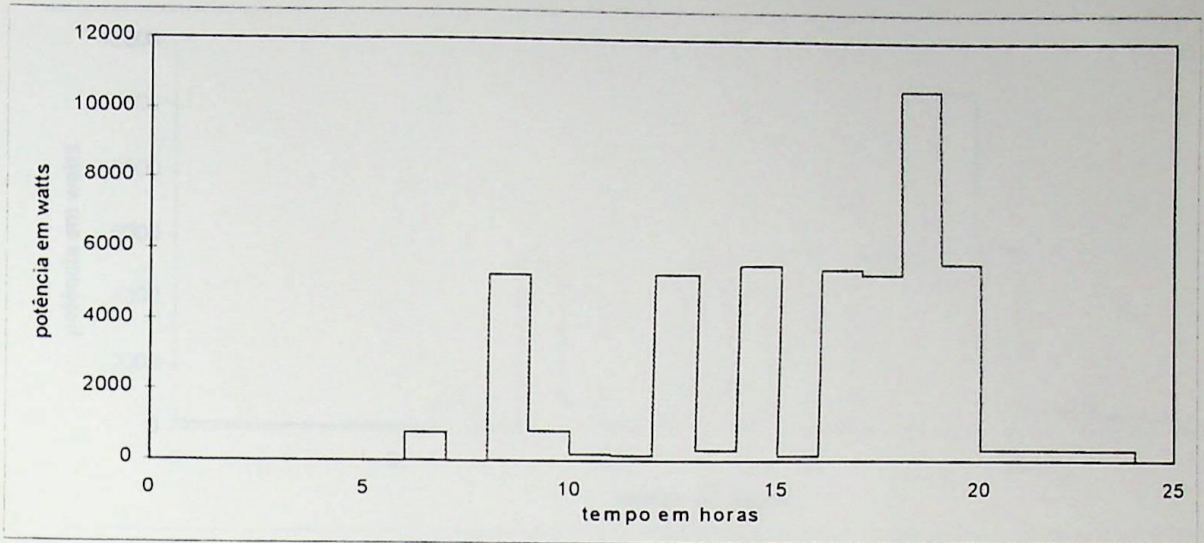


Figura B1 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor A



Figura B2 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor A

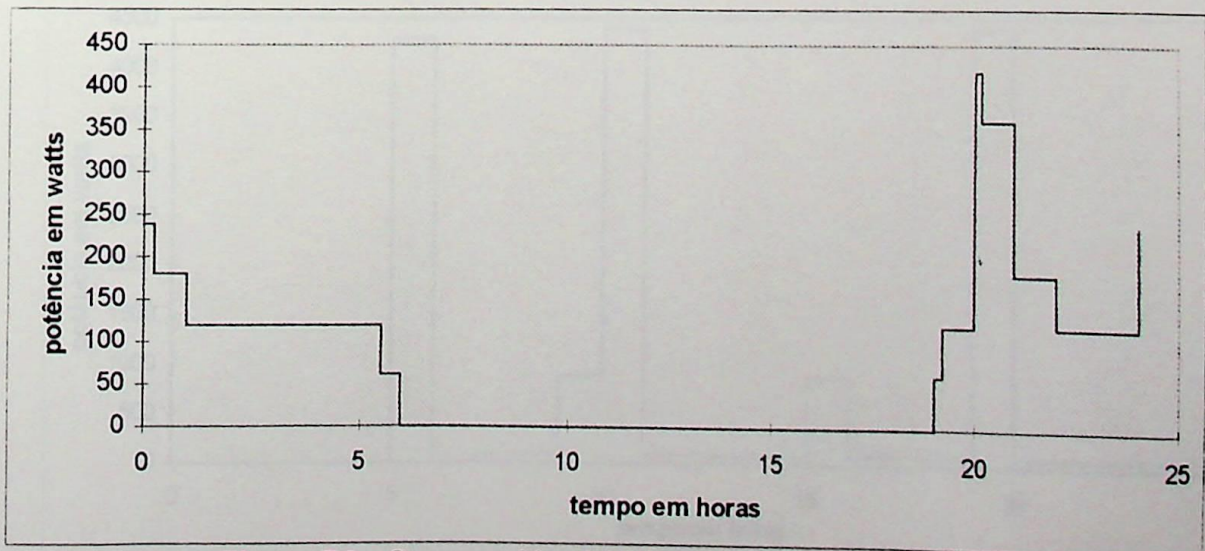


Figura B3 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor A

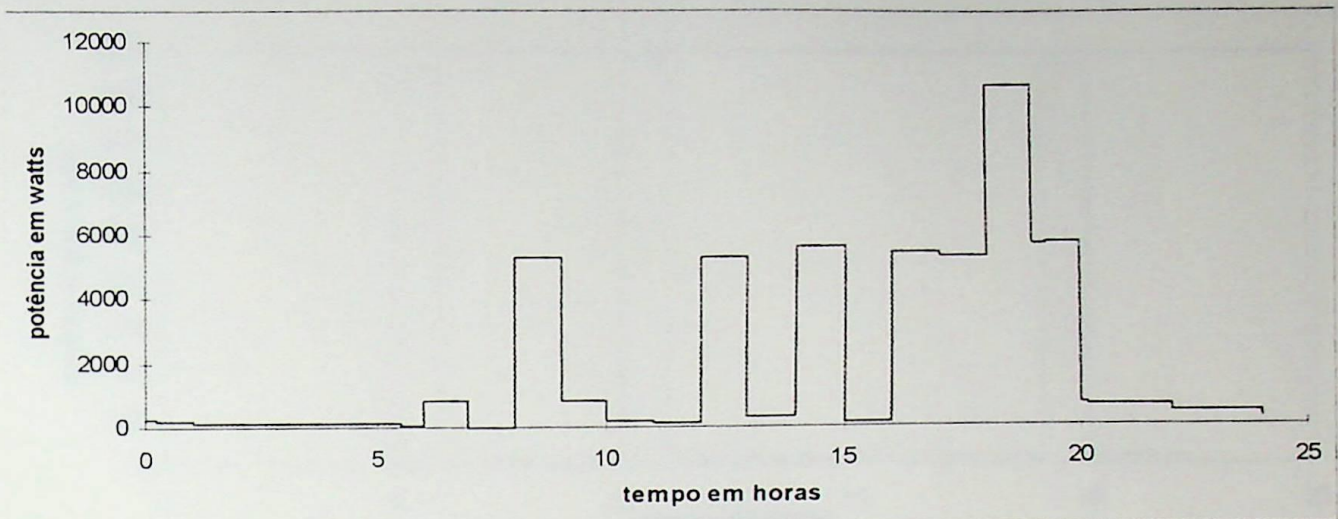


Figura B4 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor A

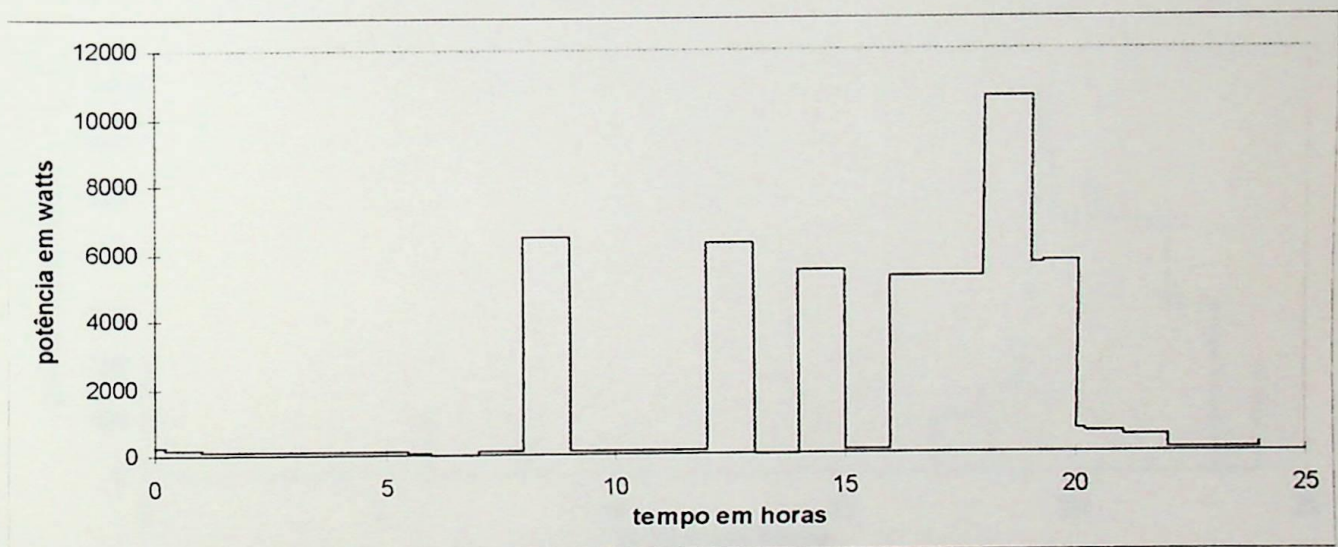


Figura B5 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor A

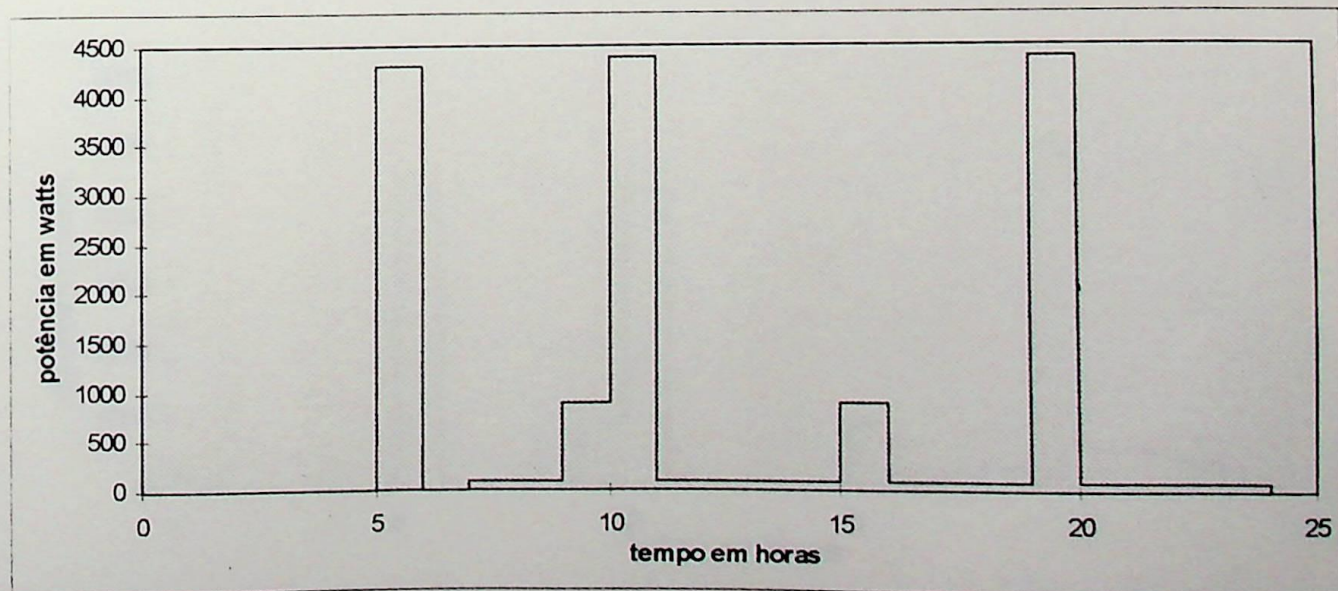


Figura B6 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor B

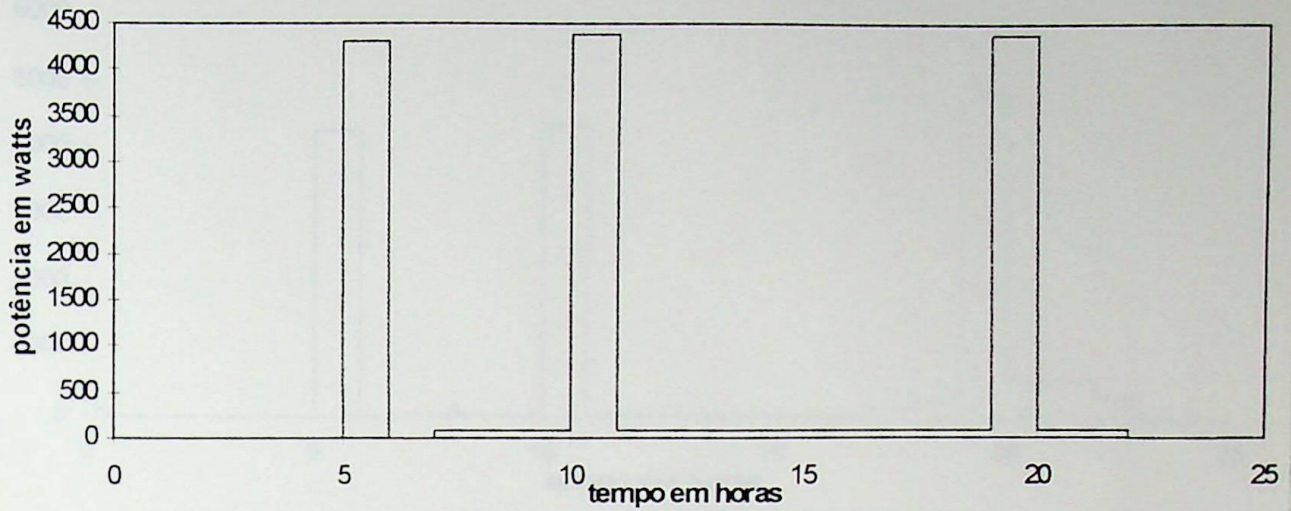


Figura B7 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor B

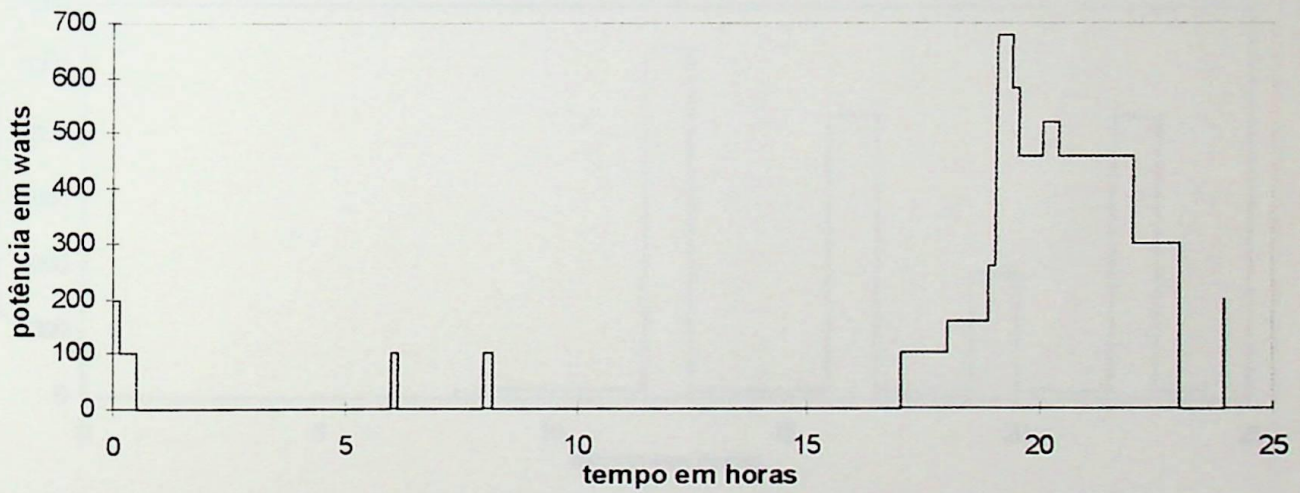


Figura B8 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor B

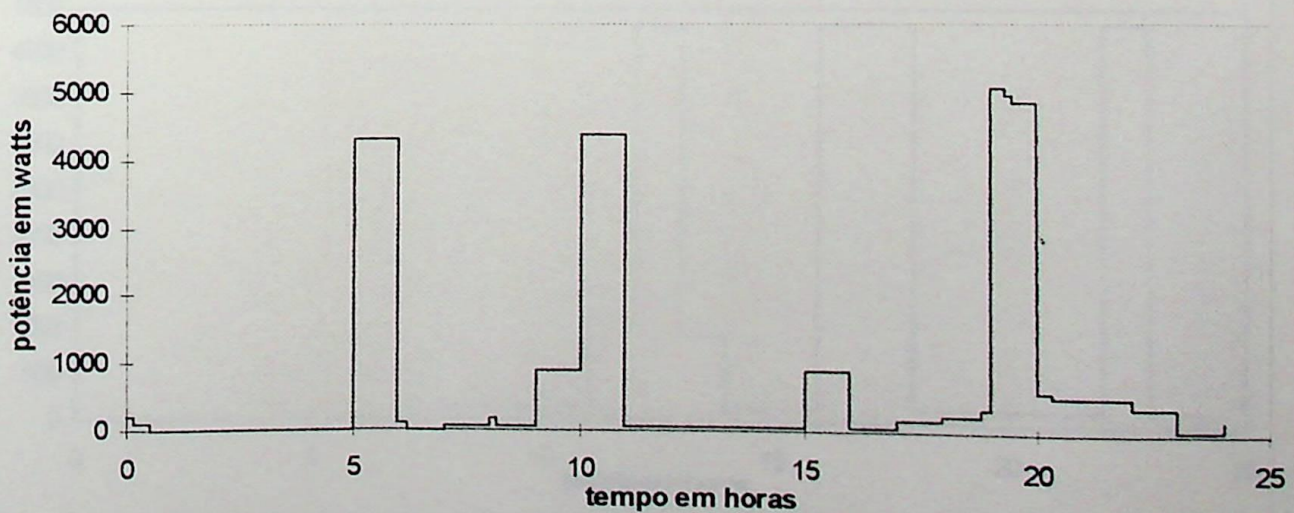


Figura B9 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor B

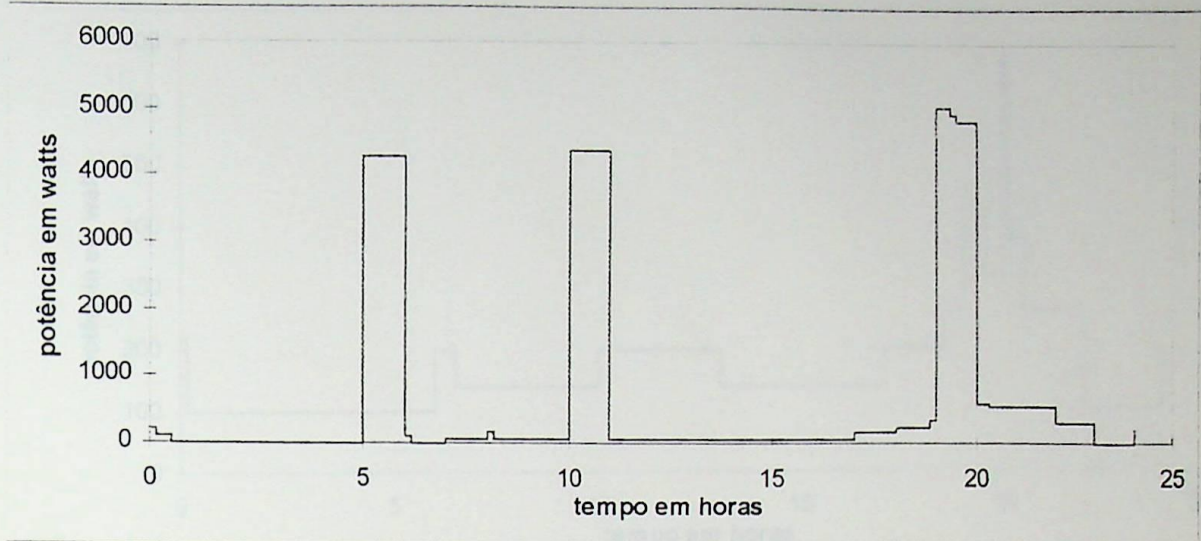


Figura B10 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor B

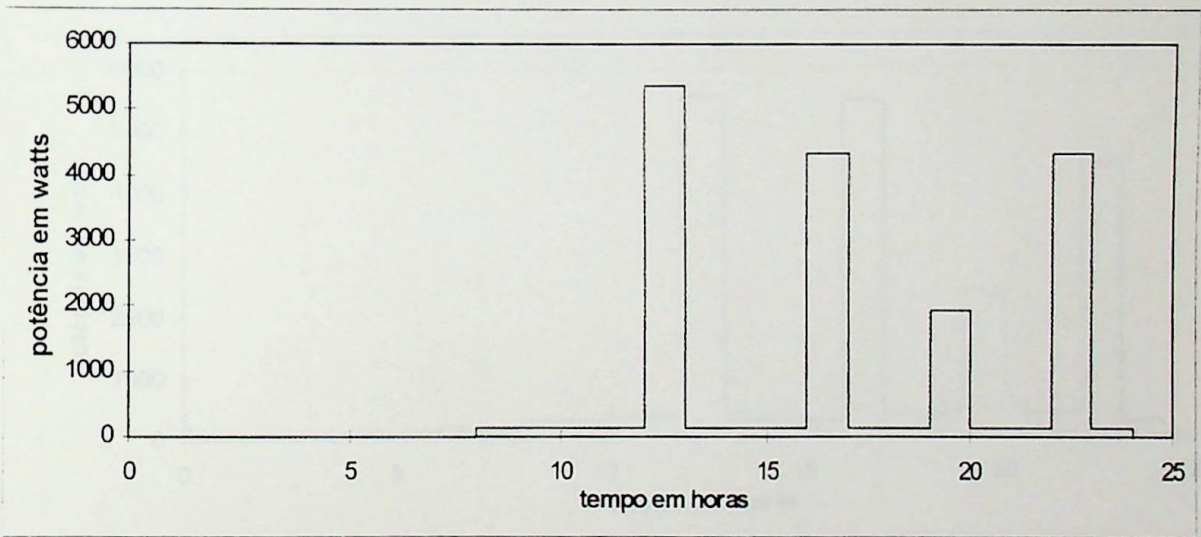


Figura B11 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor C

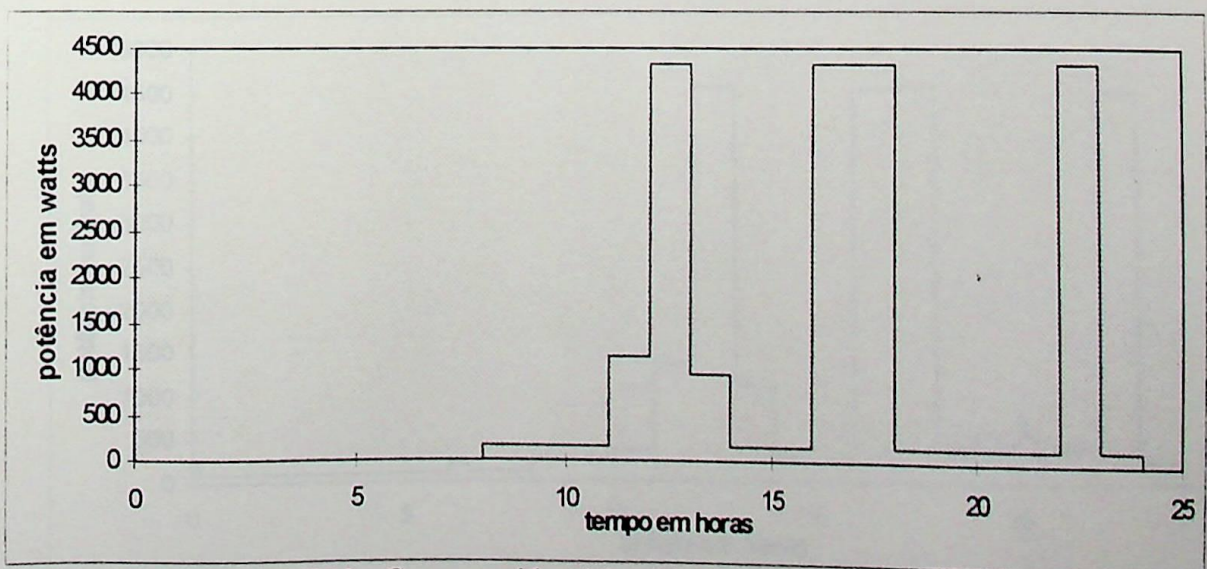


Figura B12 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor C

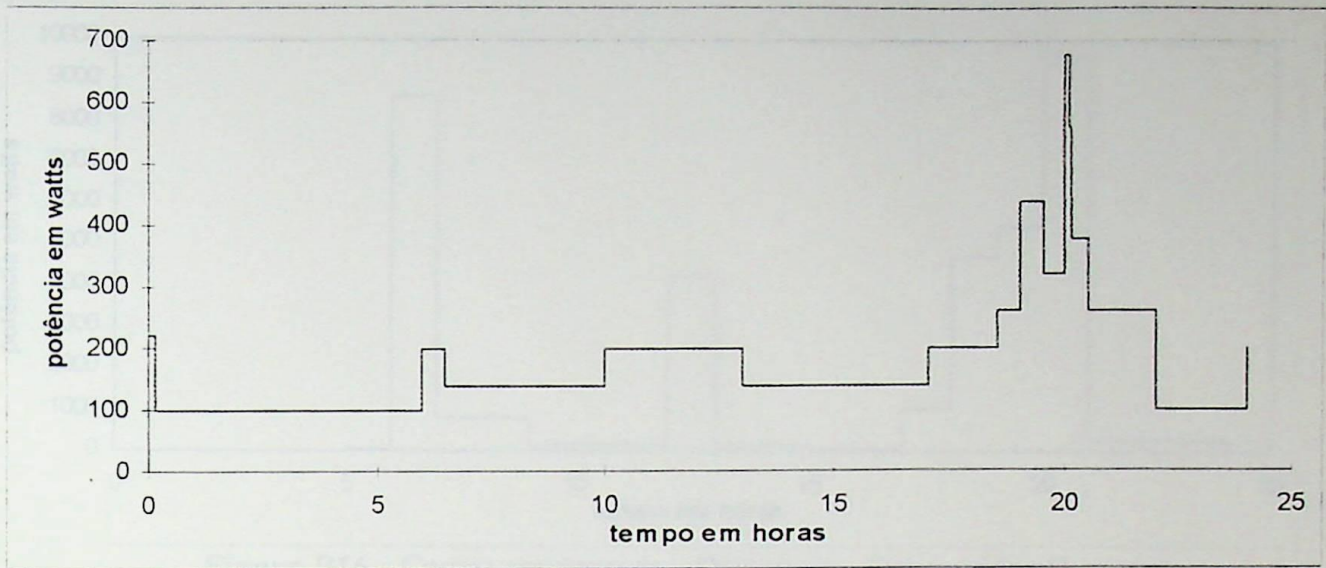


Figura B13 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor C

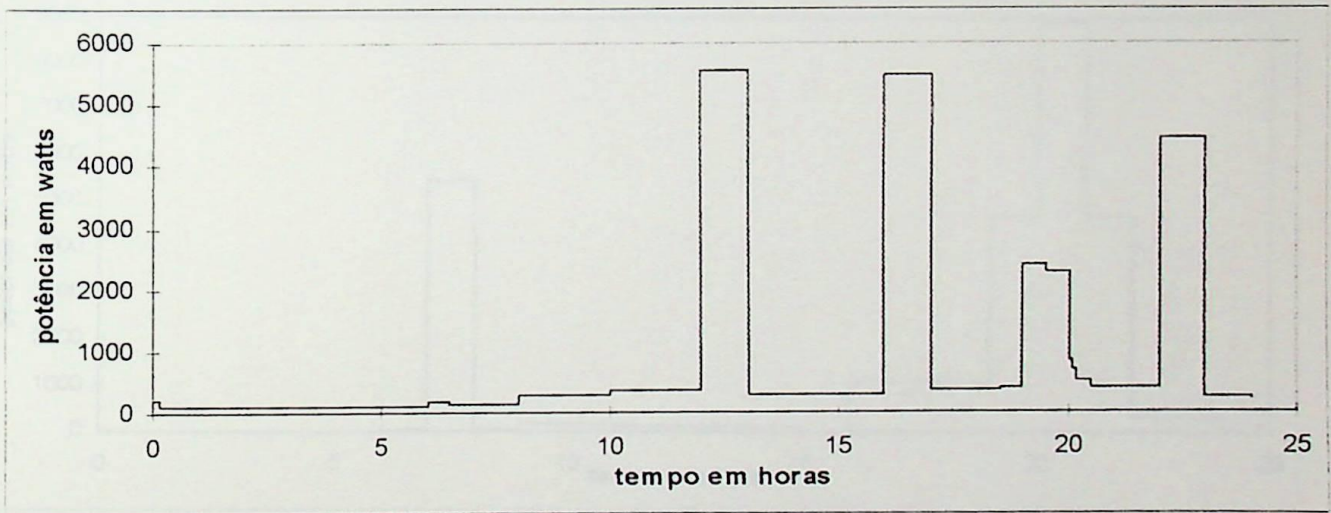


Figura B14 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor C

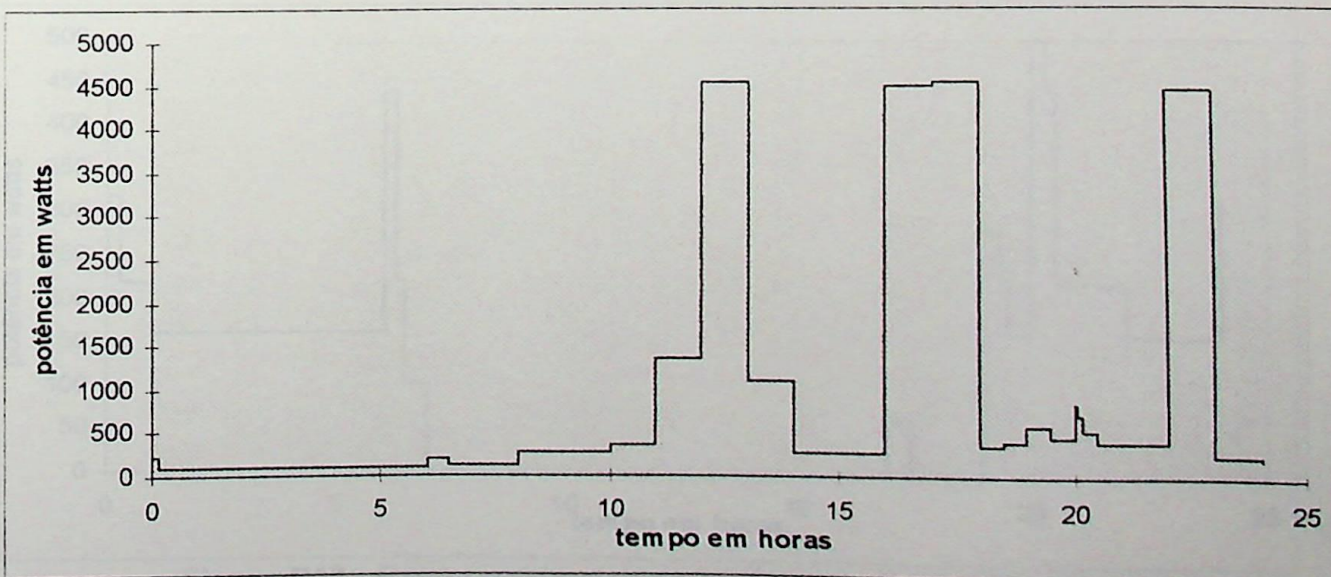


Figura B15 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor C

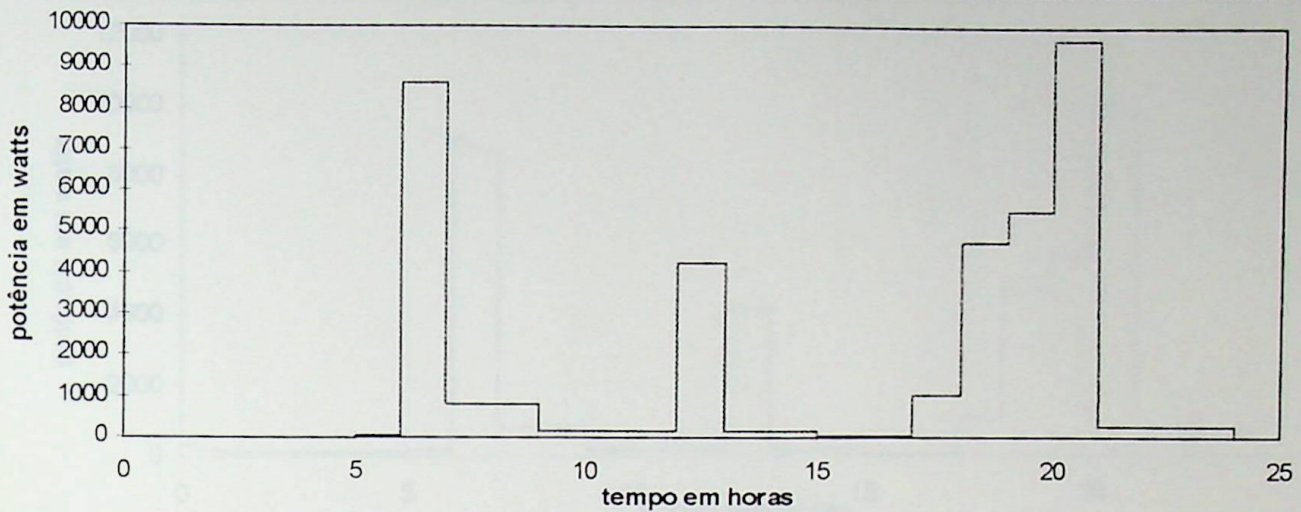


Figura B16 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor D

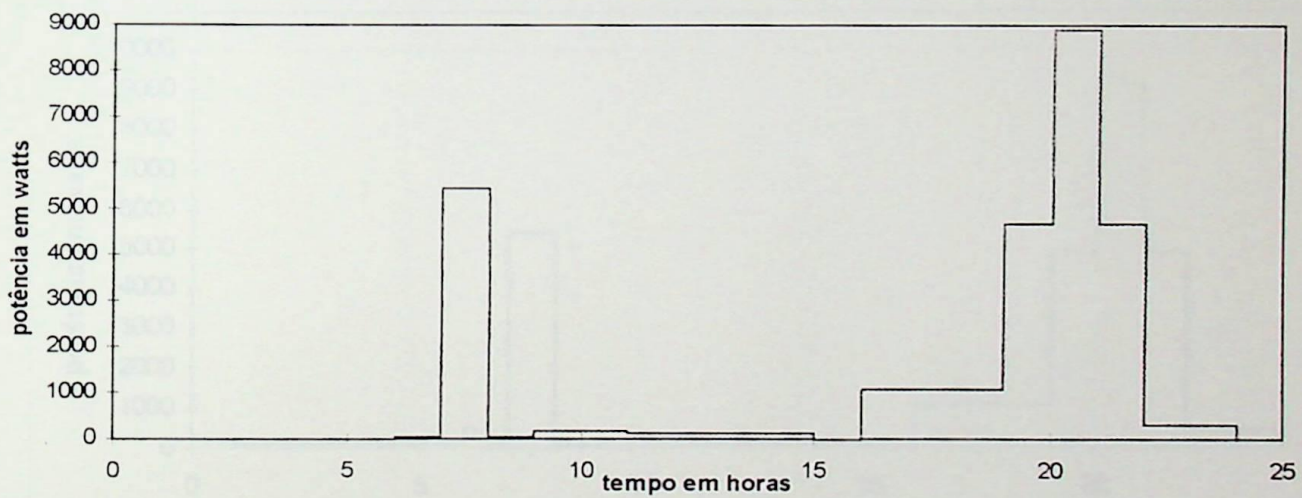


Figura B17 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor D

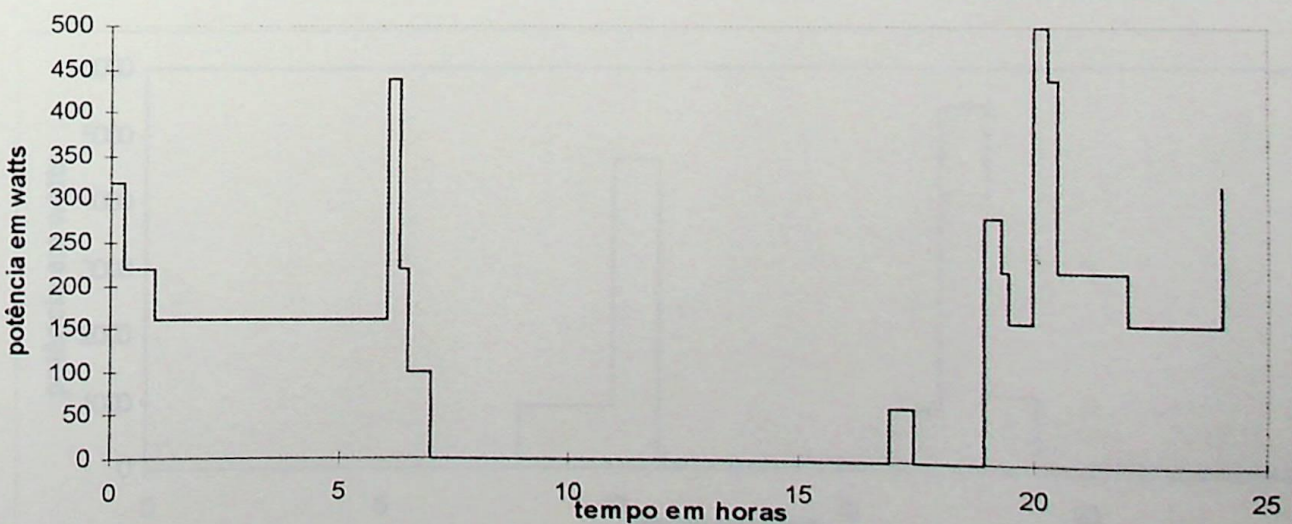


Figura B18 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor D

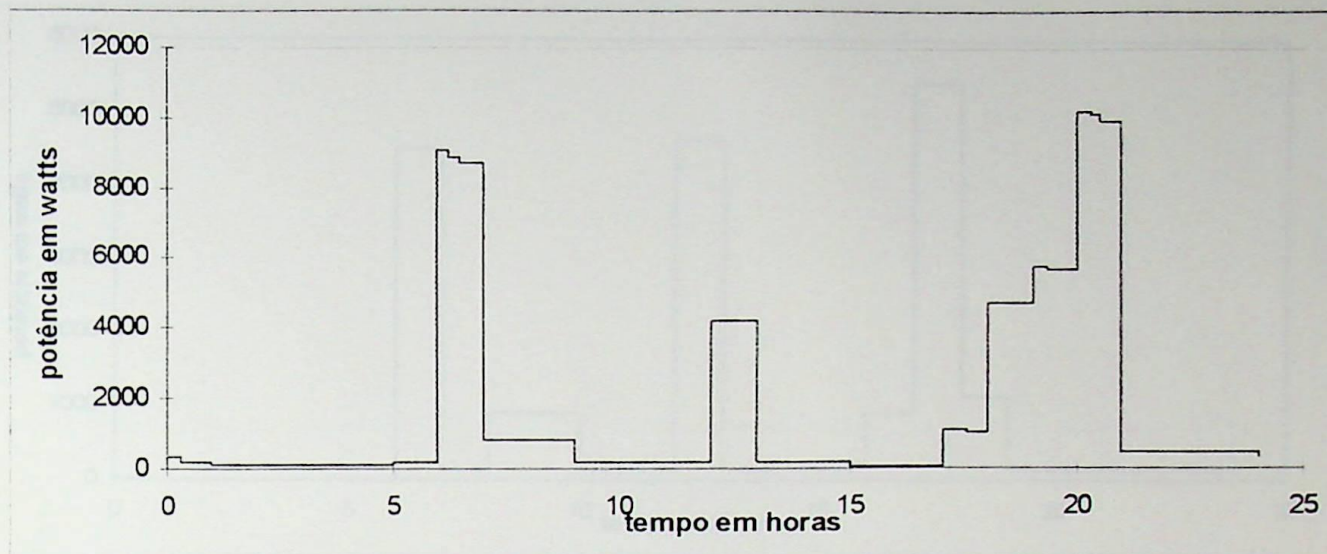


Figura B19 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor D

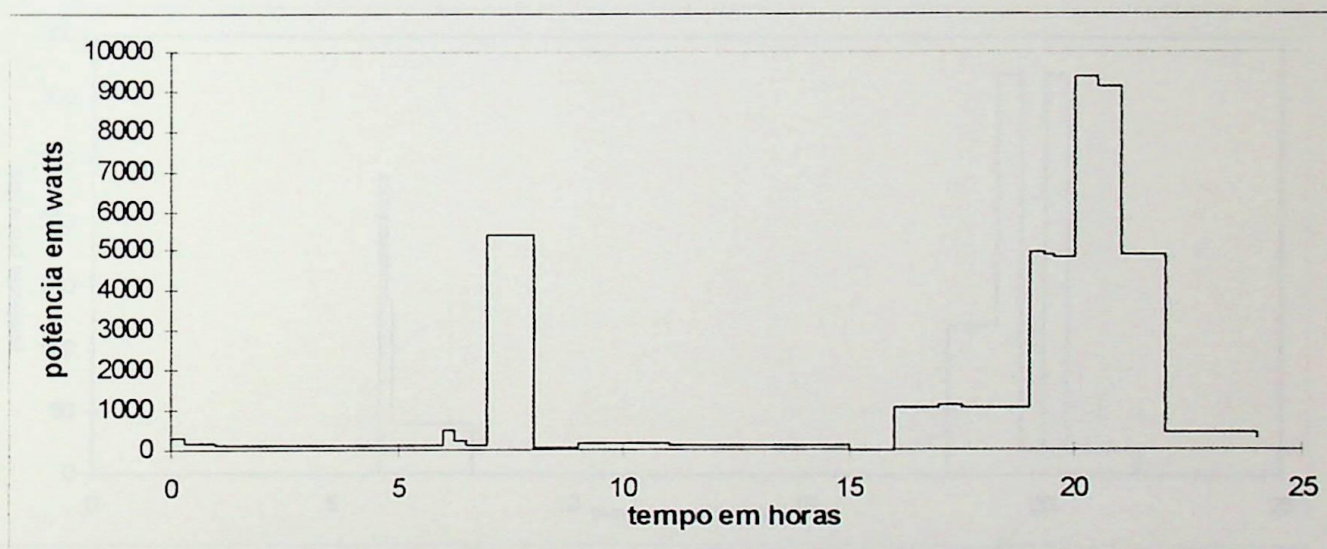


Figura B20 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor D

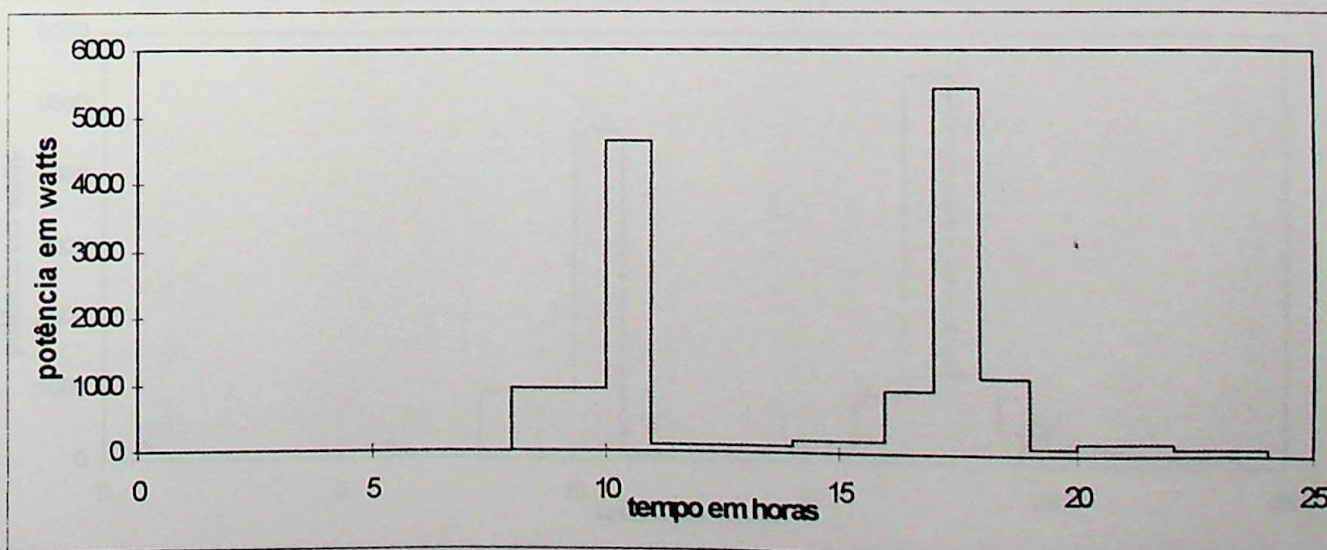


Figura B21 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor E

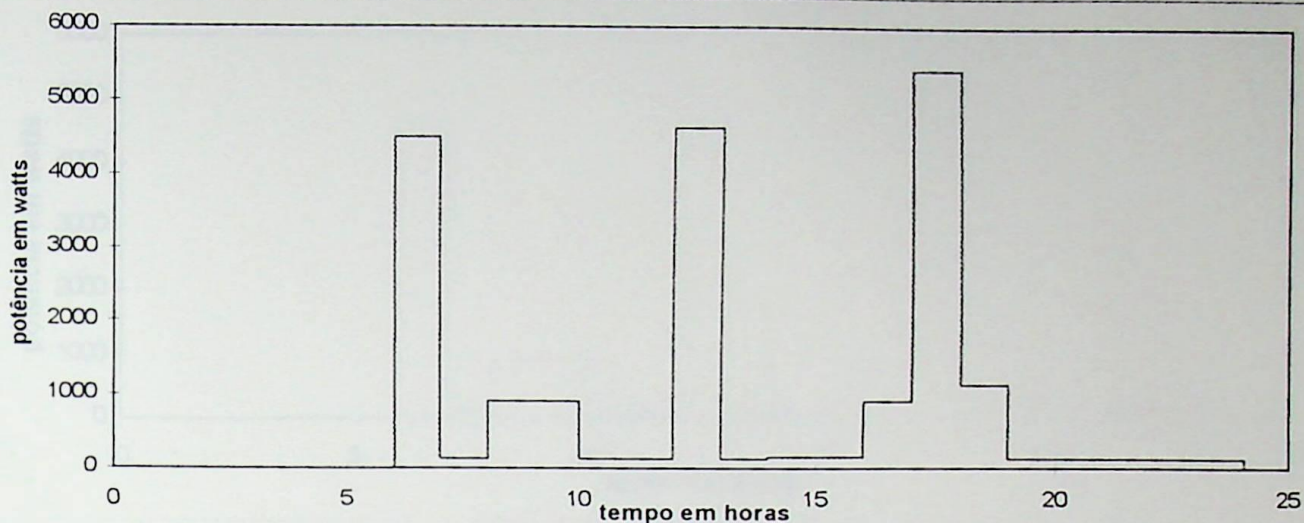


Figura B22 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor E

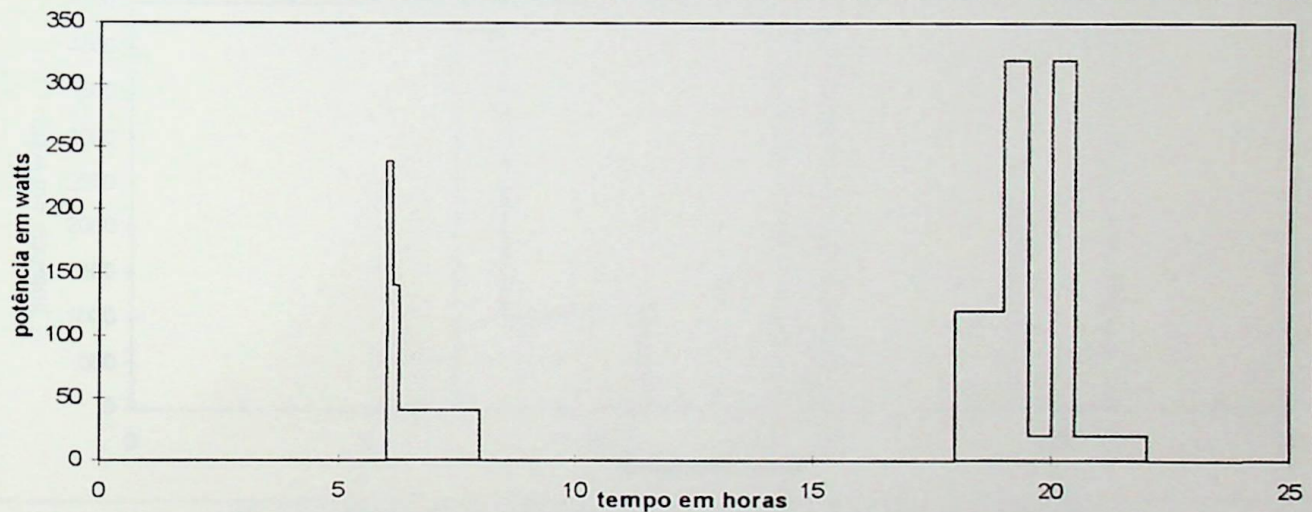


Figura B23 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor E

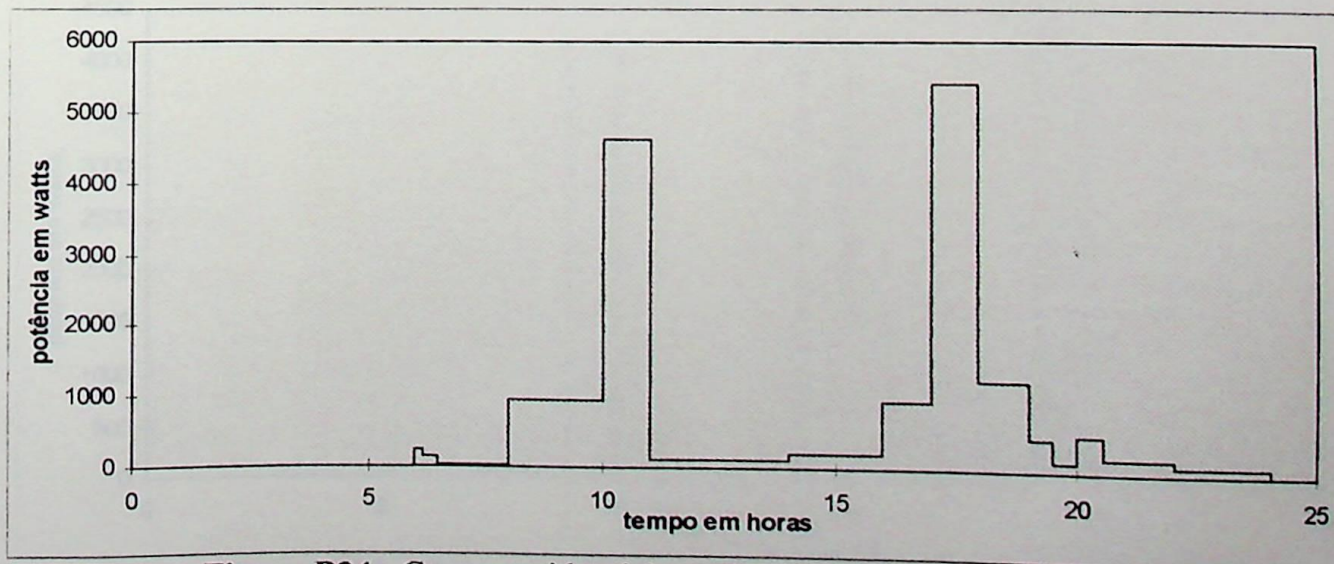


Figura B24 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor E

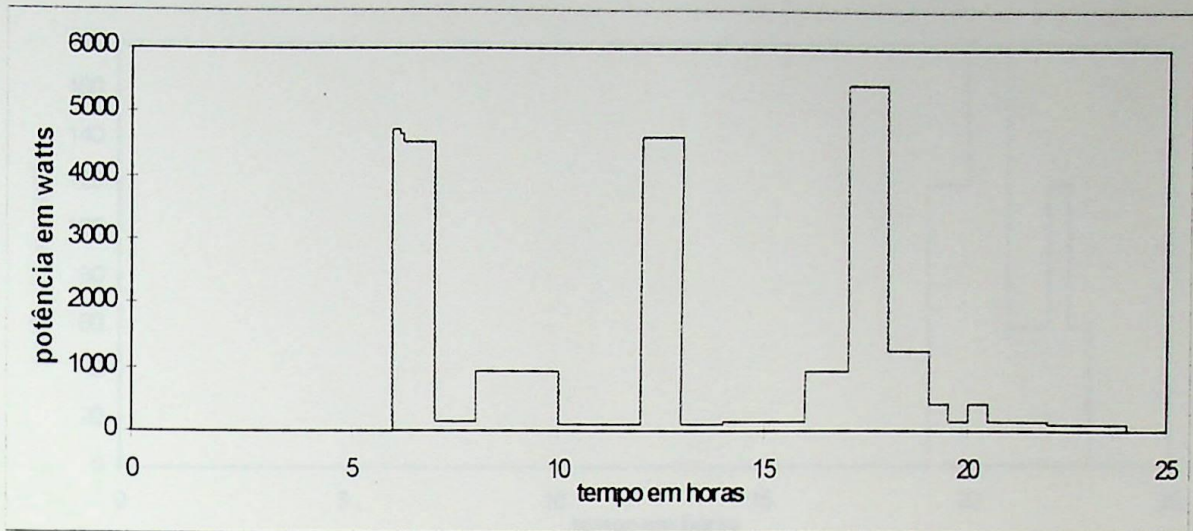


Figura B25 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor E

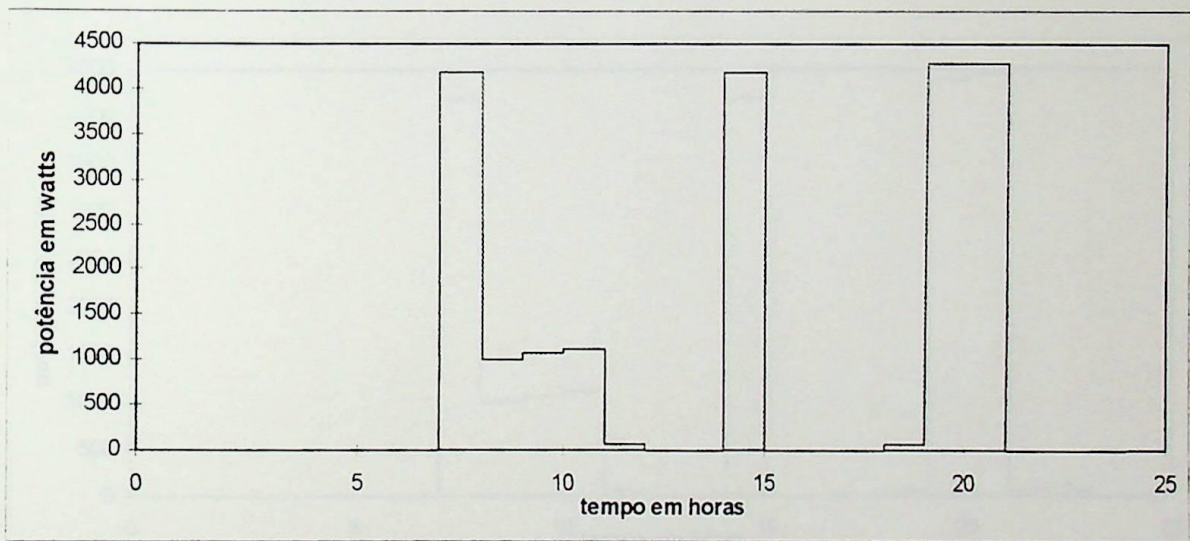


Figura B26 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor F

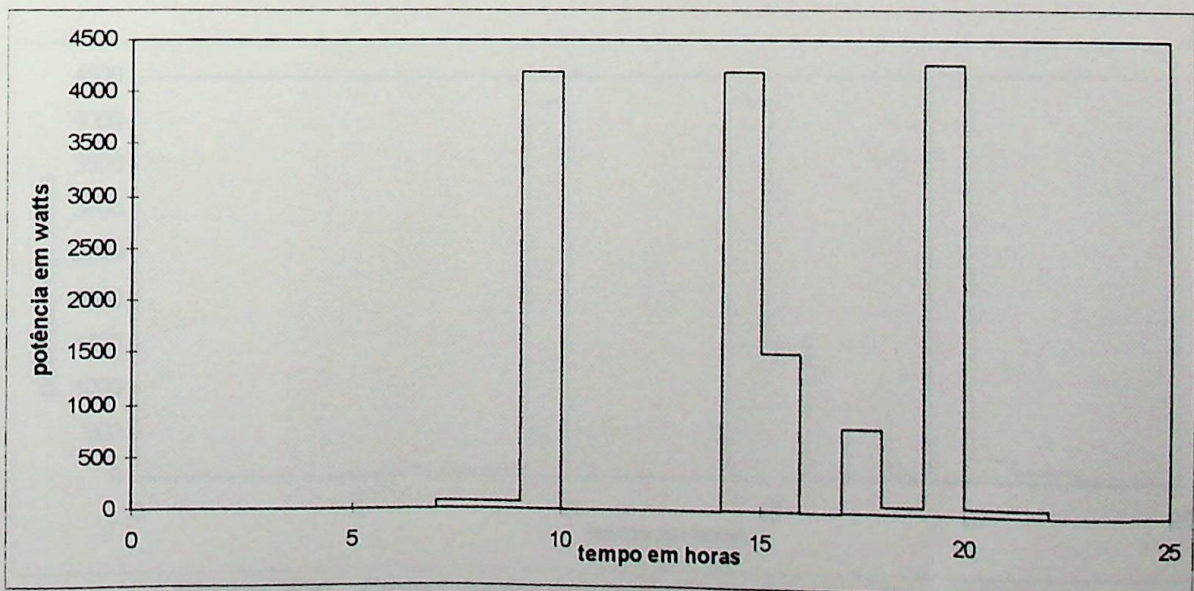


Figura B27 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor F

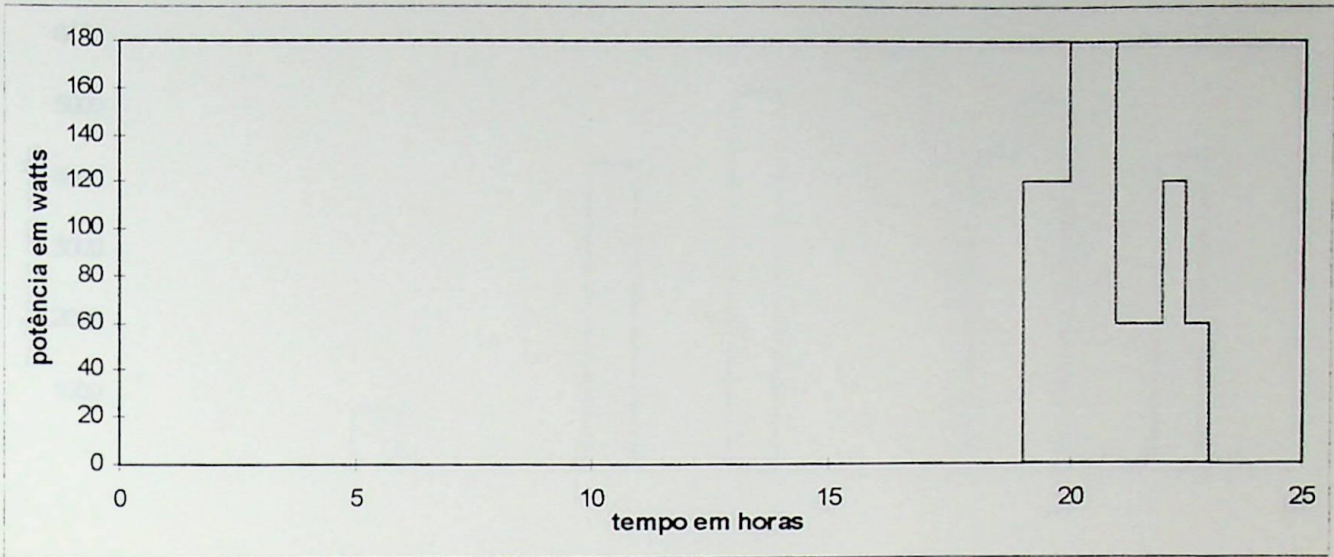


Figura B28 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor F

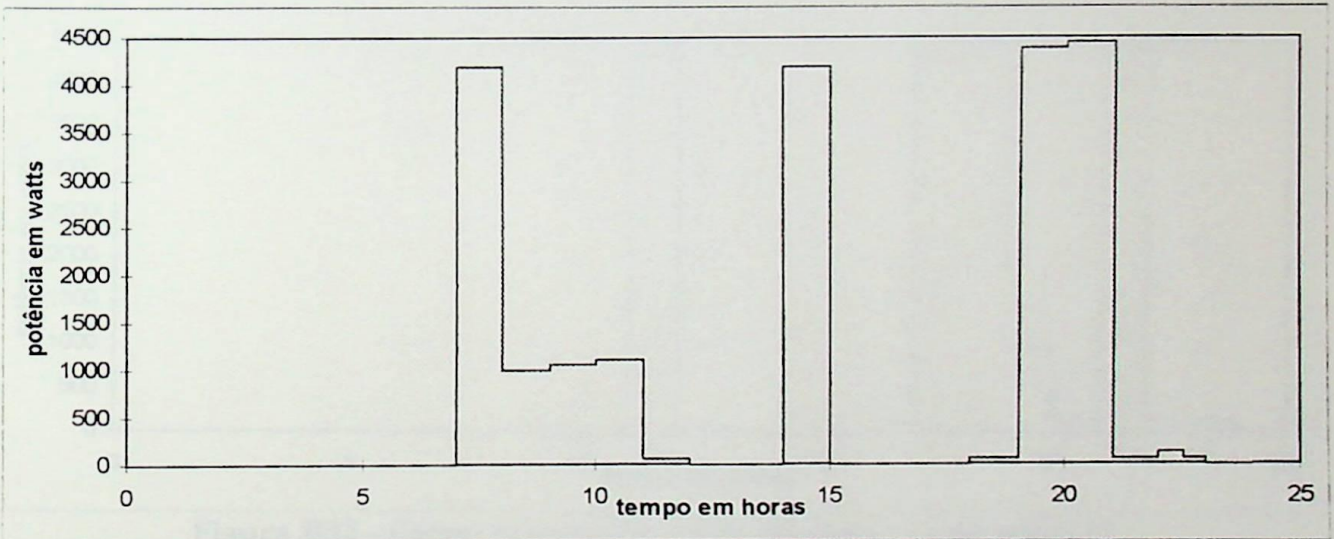


Figura B29 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor F

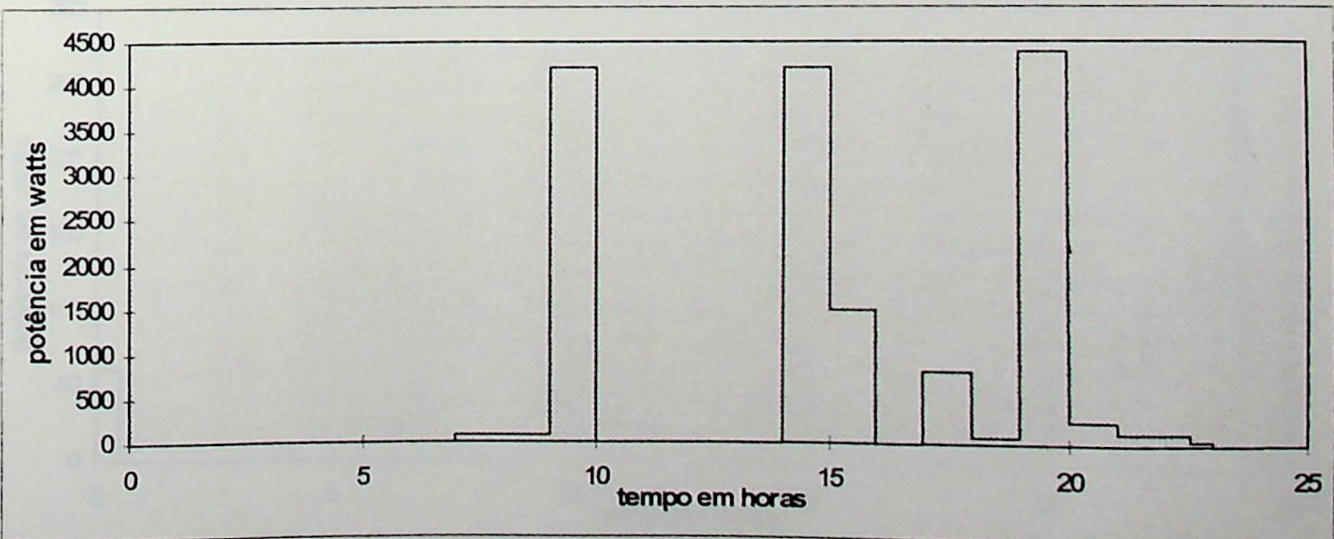


Figura B30 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor F

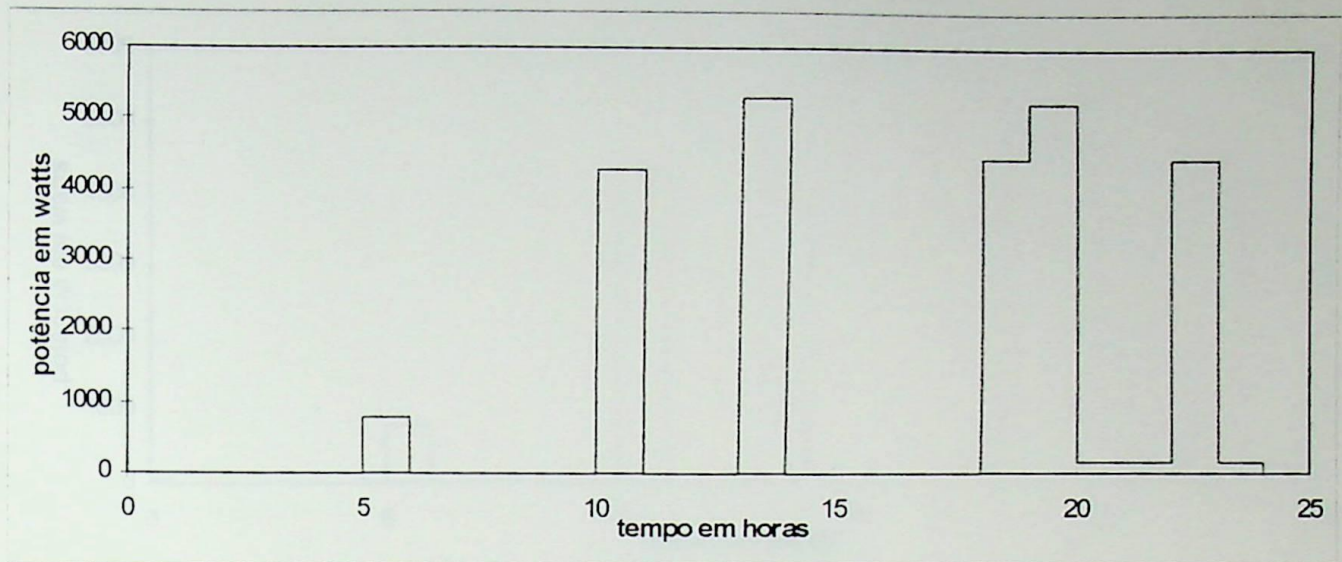


Figura B31 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor G

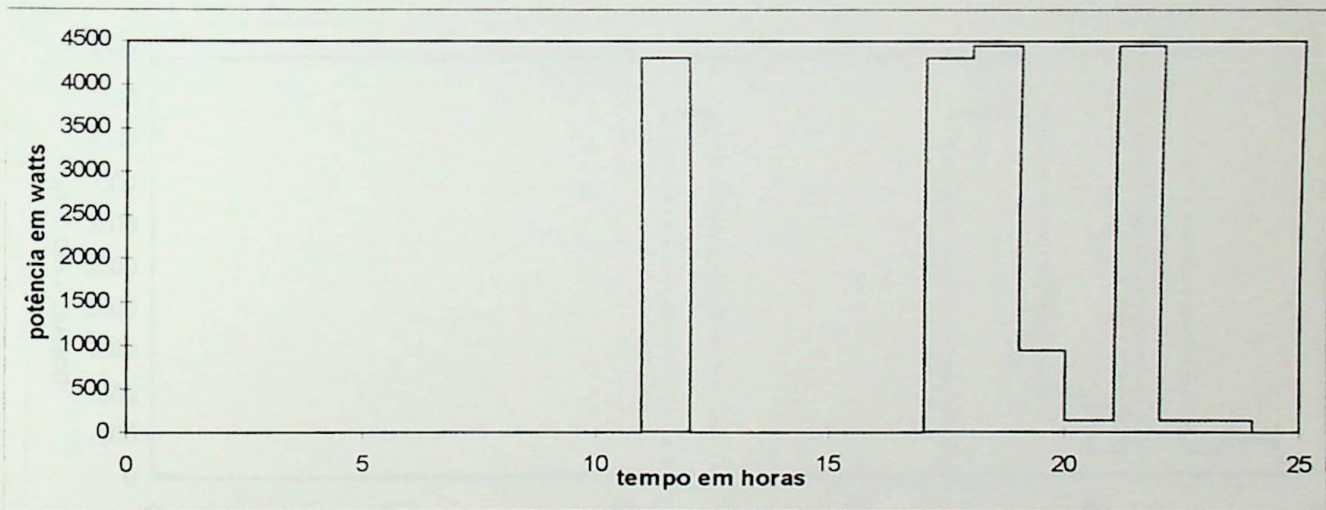


Figura B32 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor G

Figura B33 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor G

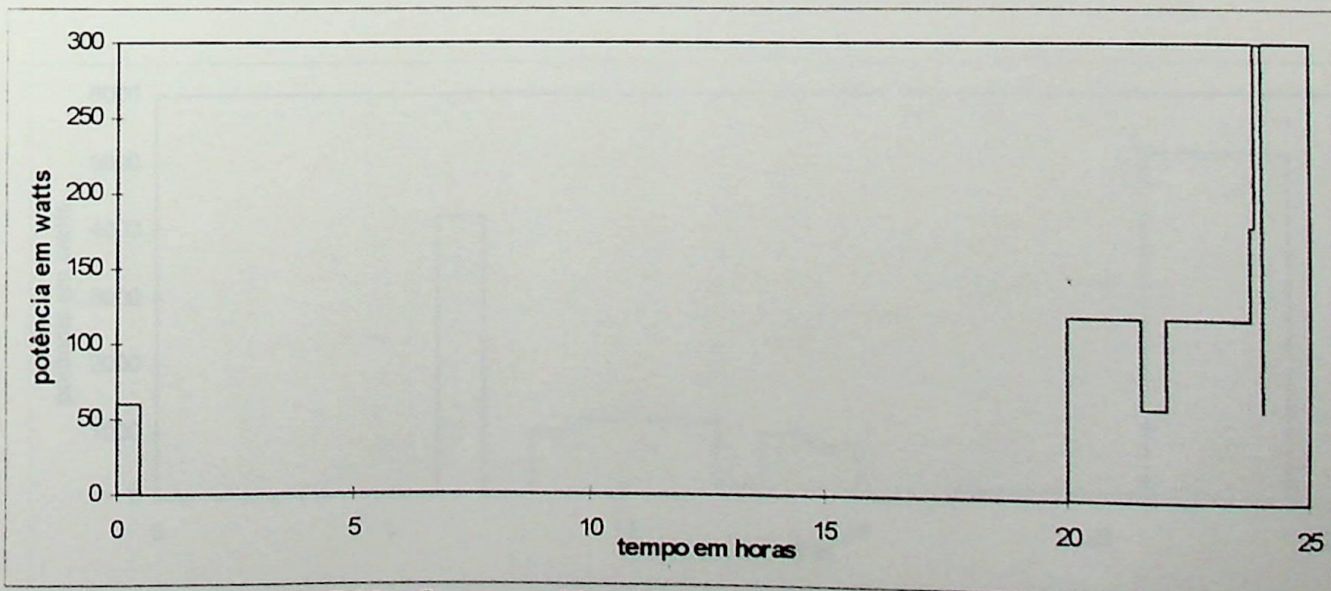


Figura B33 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor G

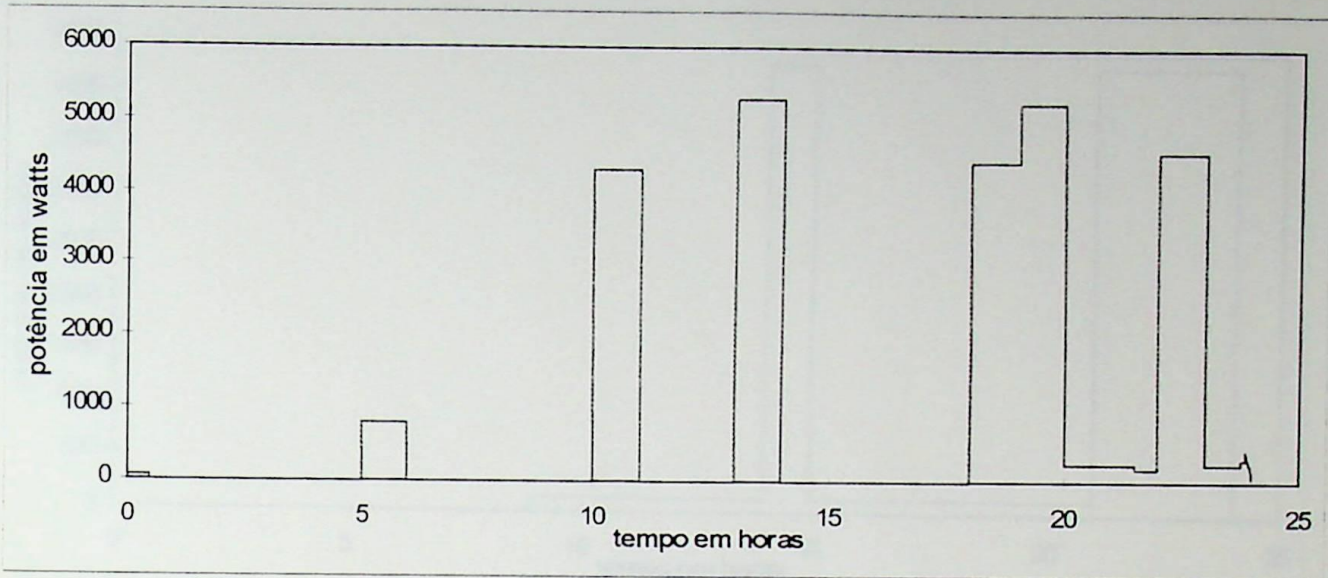


Figura B34 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor G



Figura B35 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor G

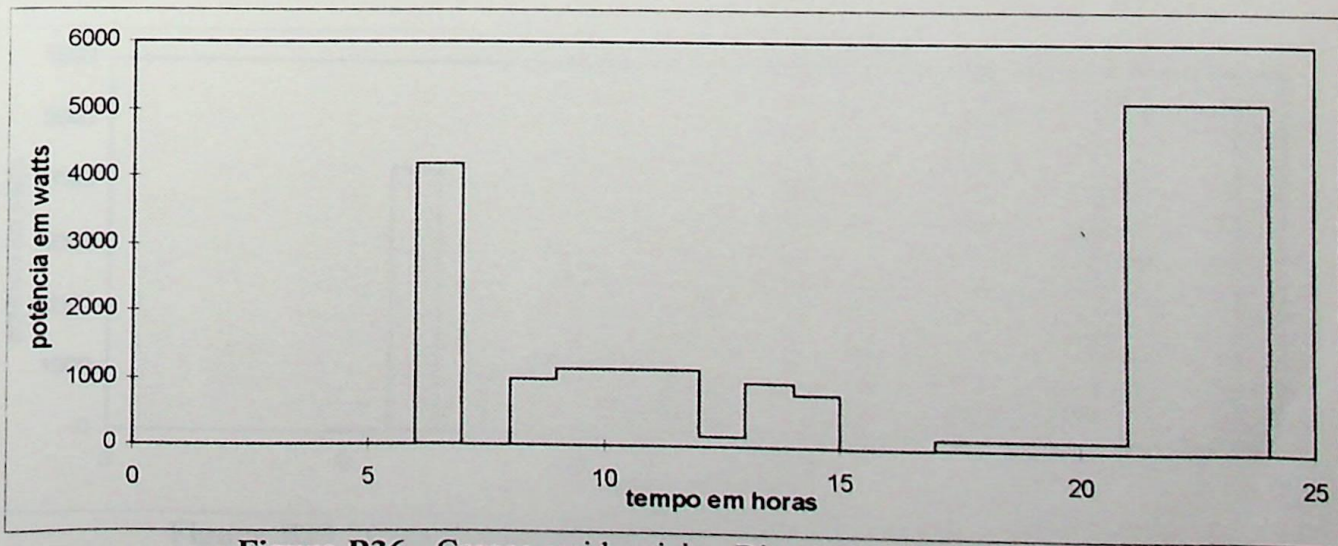


Figura B36 - Cargas residenciais - Dias úteis - Consumidor H

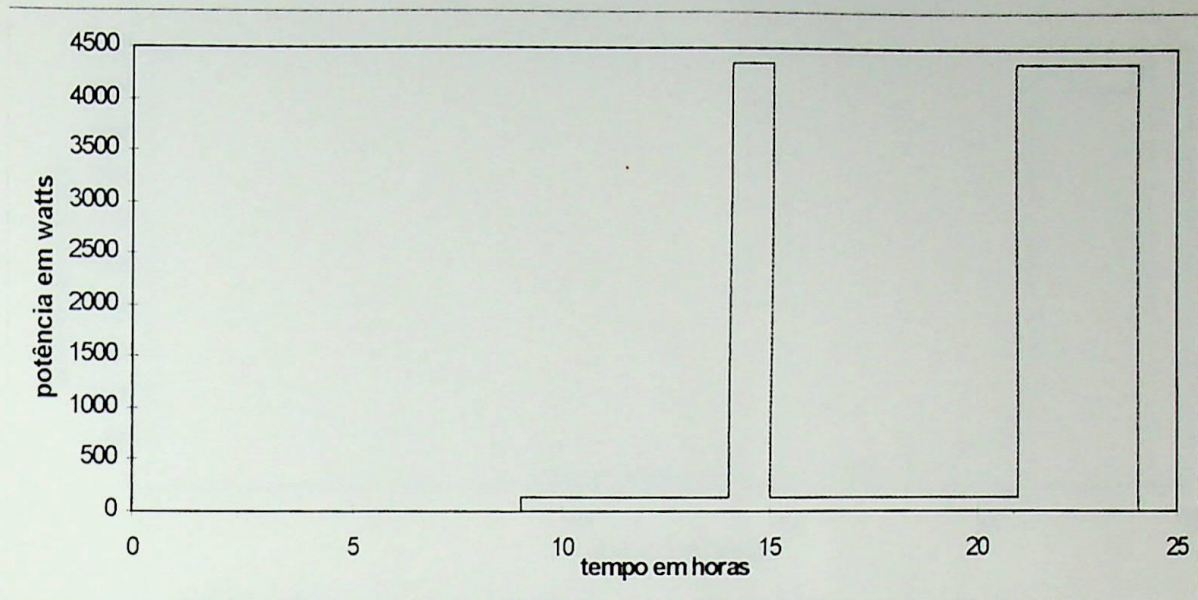


Figura B37 - Cargas residenciais - Dias não úteis - Consumidor H

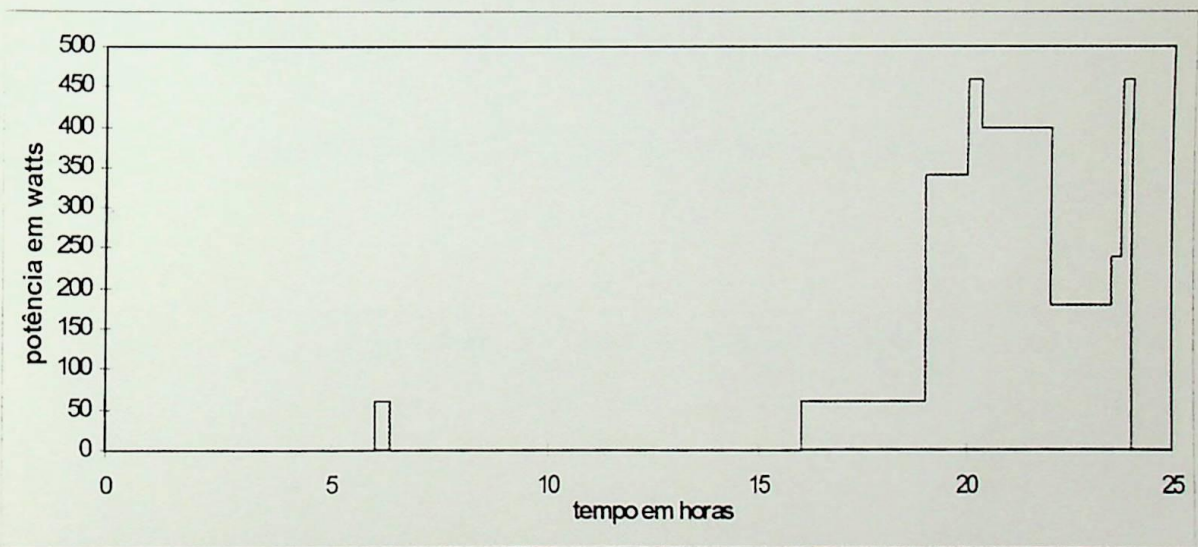


Figura B38 - Cargas residenciais de iluminação - Consumidor H

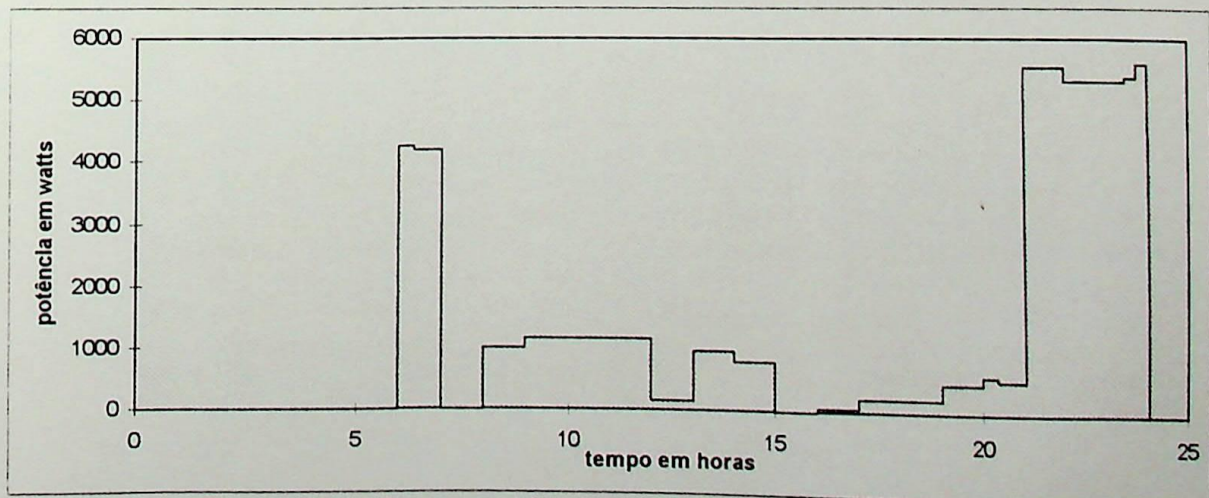


Figura B39 - Cargas residenciais total - Dias úteis - Consumidor H

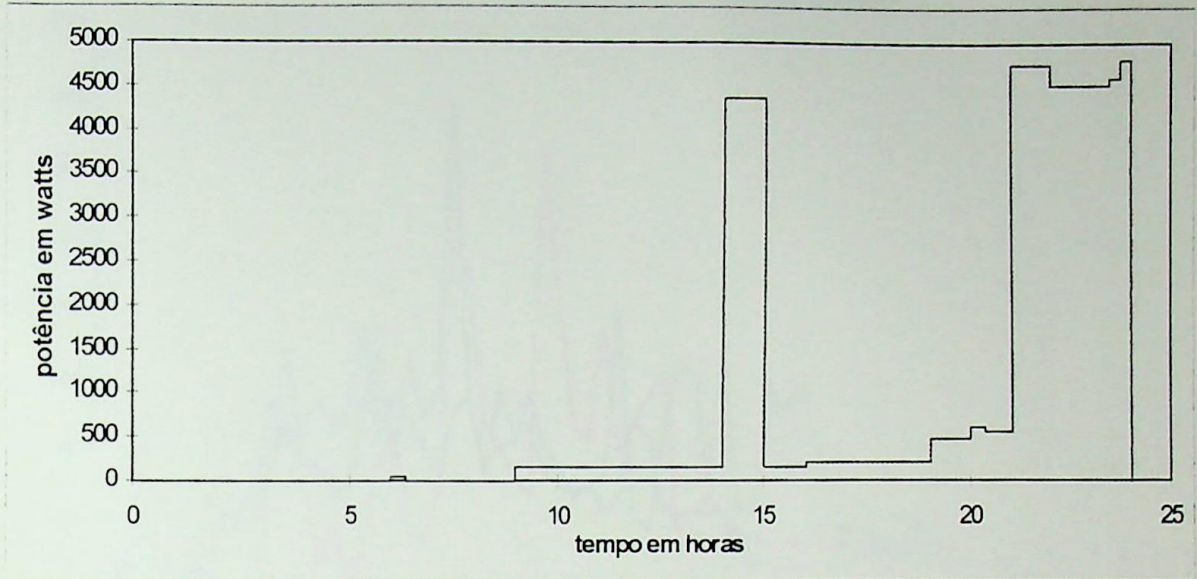


Figura B40 - Cargas residenciais total - Dias não úteis - Consumidor H

DEMANDA EM WATT - DIAS ÚTEIS

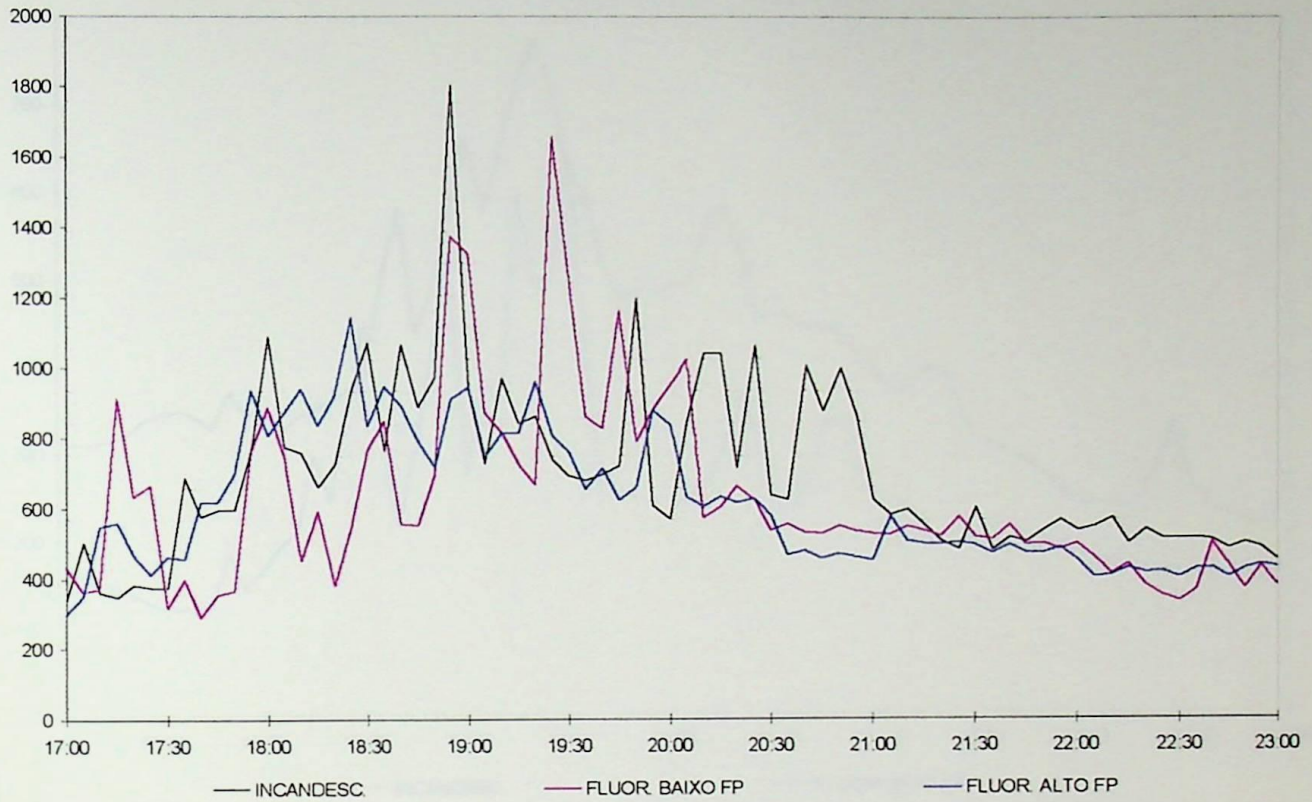


Figura B41 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor A

DEMANDA EM WATT - DIAS NÃO ÚTEIS

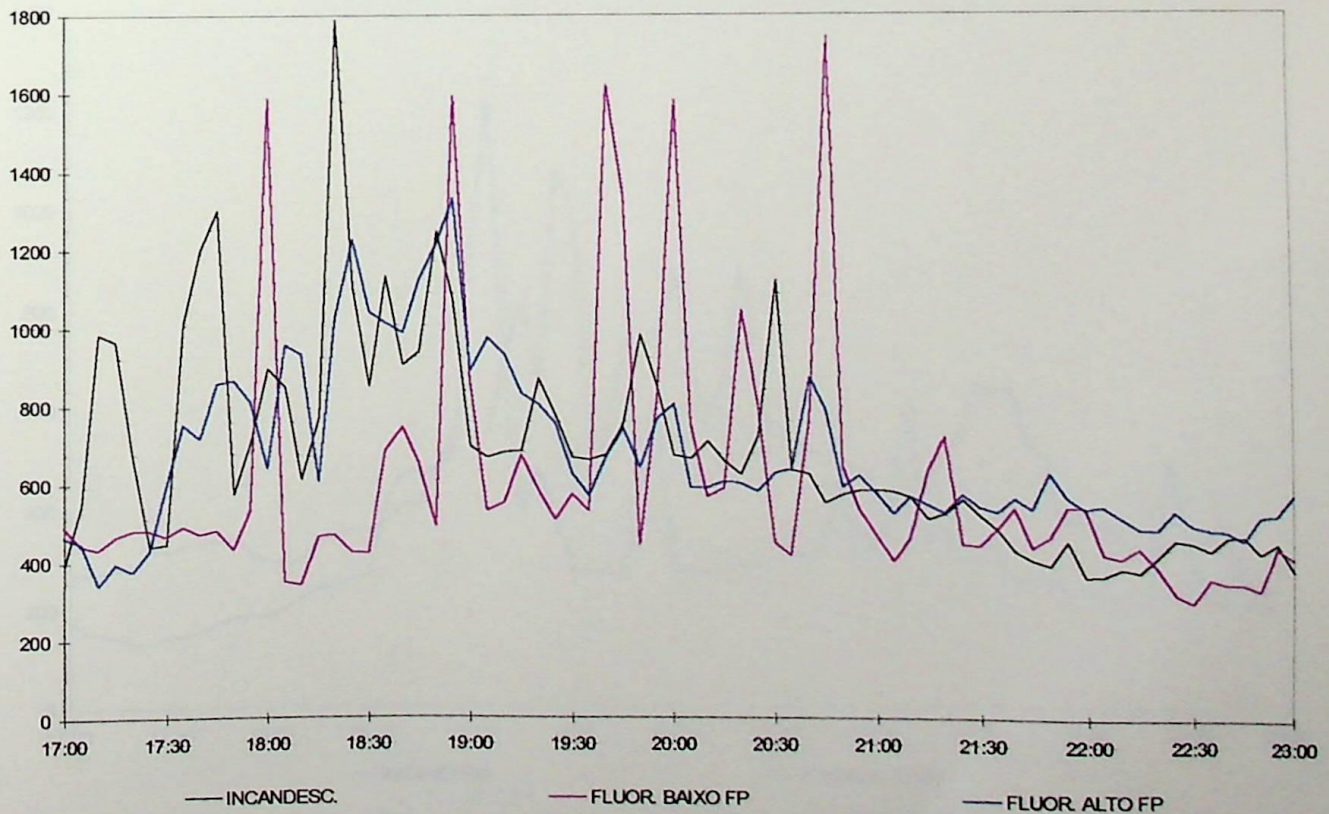


Figura B42 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor A

DEMANDA EM WATT - DIAS ÚTEIS

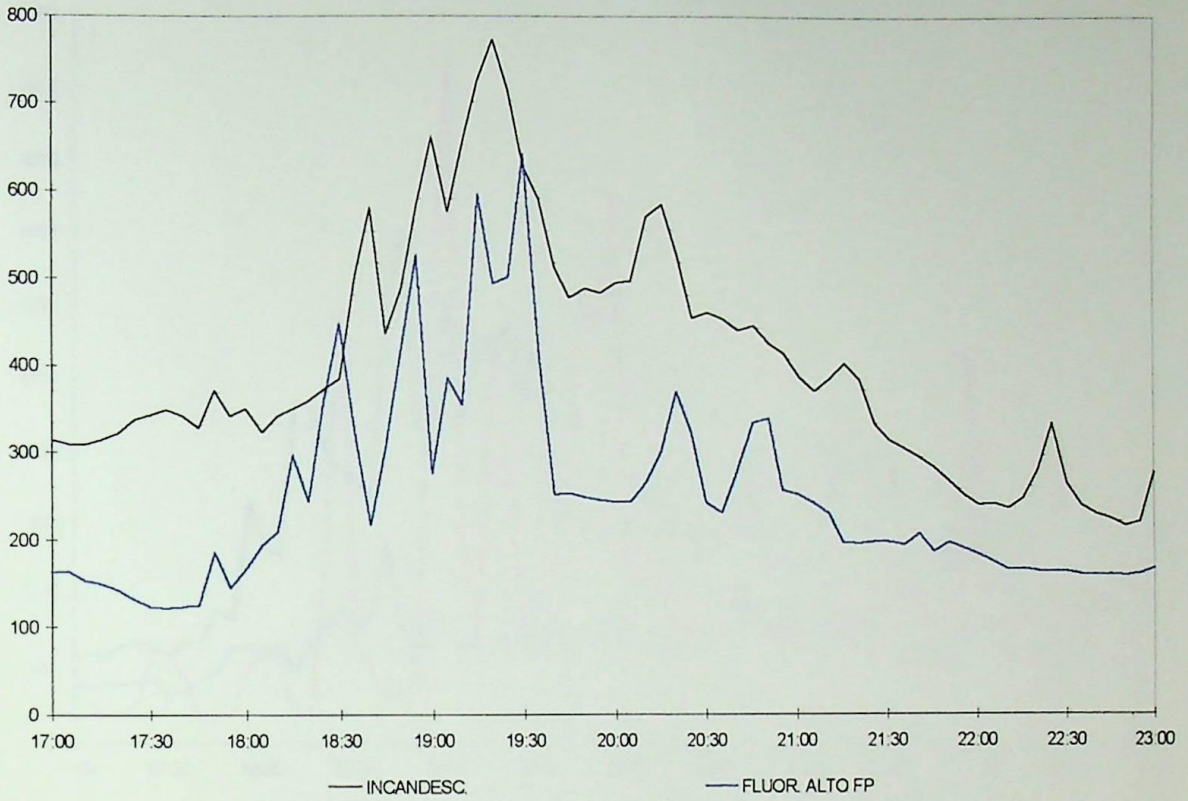


Figura B43 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor B

DEMANDA EM WATT - DIAS NÃO ÚTEIS

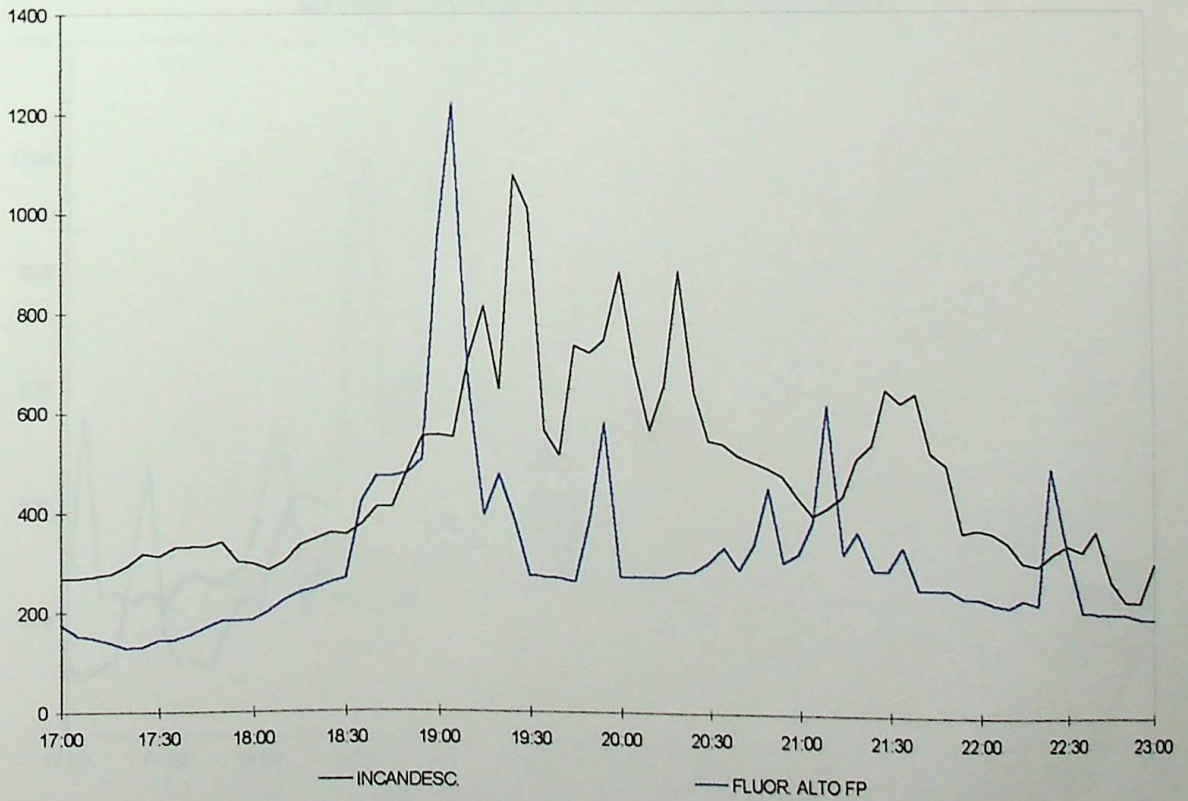


Figura B44 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor B

DEMANDA EM WATT - DIAS ÚTEIS

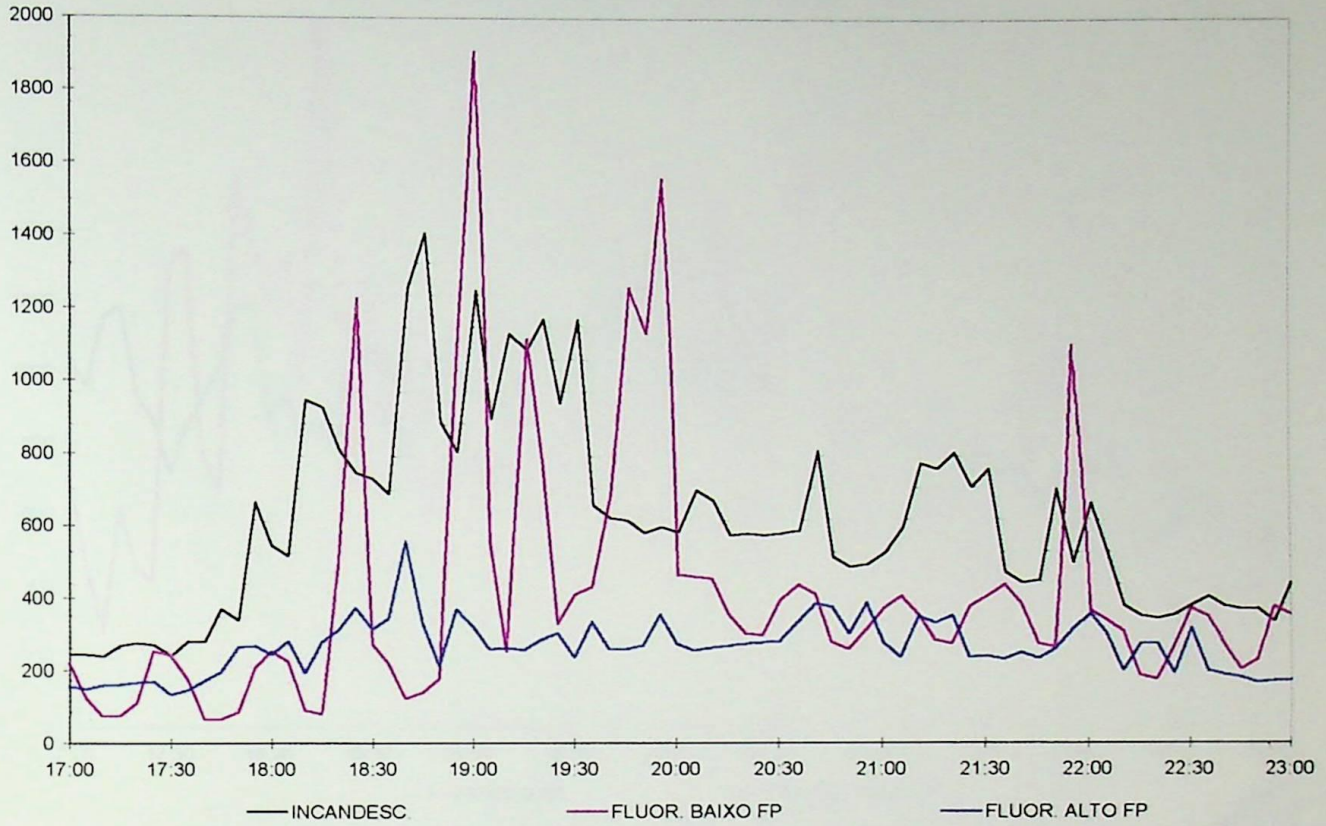


Figura B45 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor C

DEMANDA EM WATT - DIAS NÃO ÚTEIS

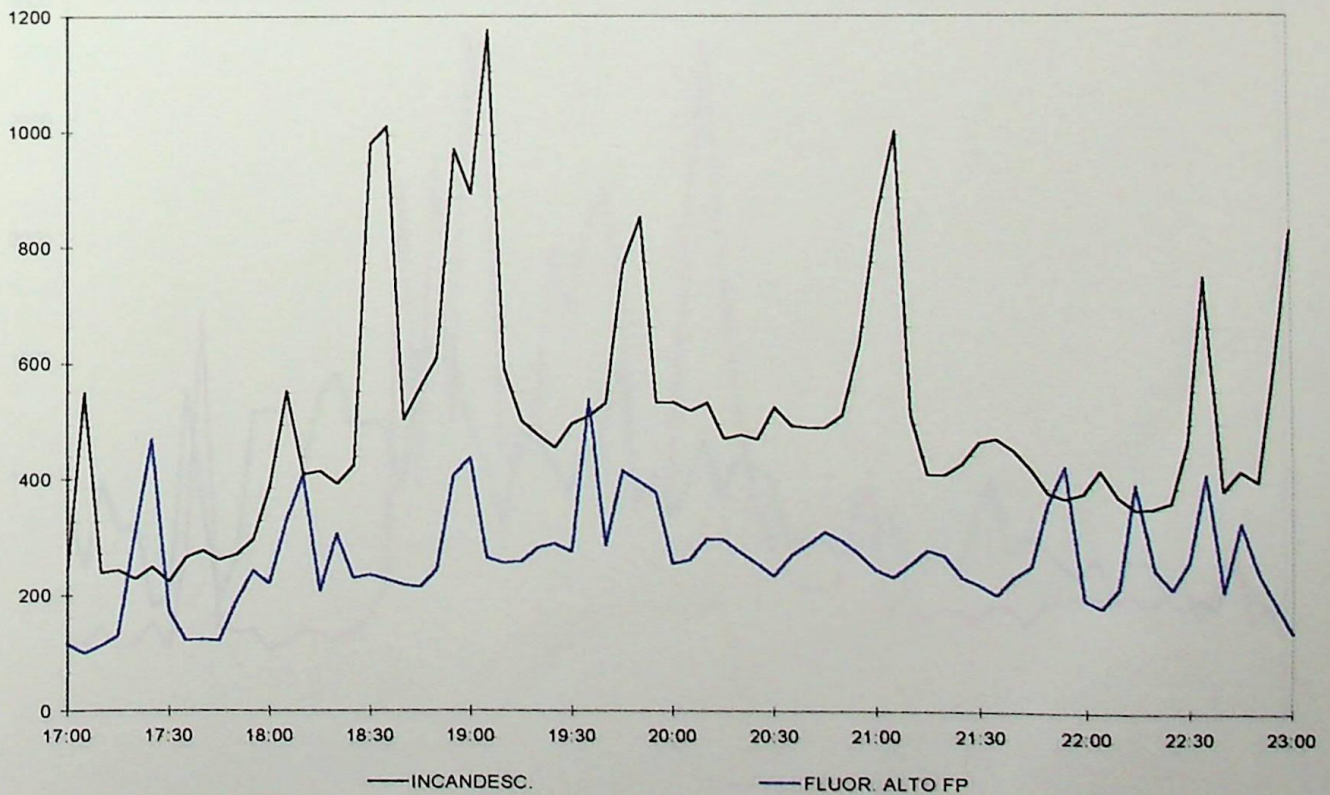


Figura B46 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor C

DEMANDA EM WATT - DIAS ÚTEIS

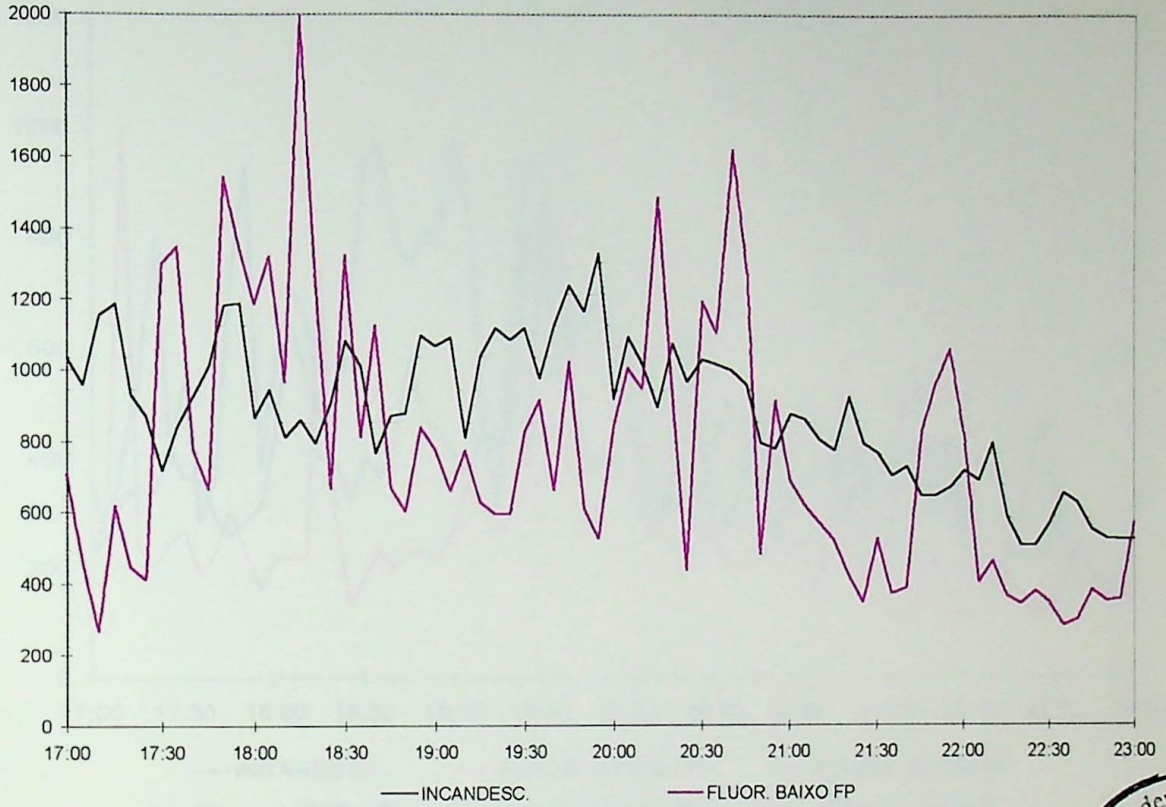


Figura B47 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor D



DEMANDA EM WATT - DIAS NÃO ÚTEIS

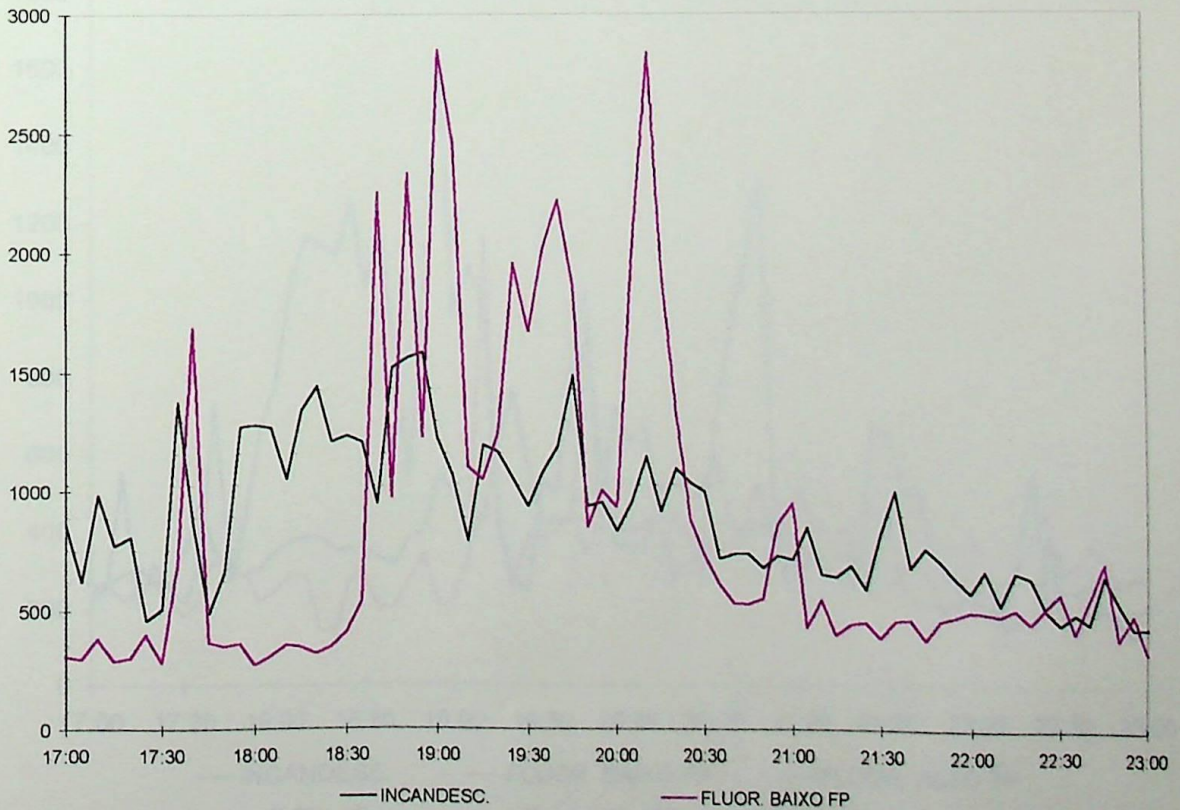


Figura B48 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor D

DEMANDA EM WATT - DIAS ÚTEIS

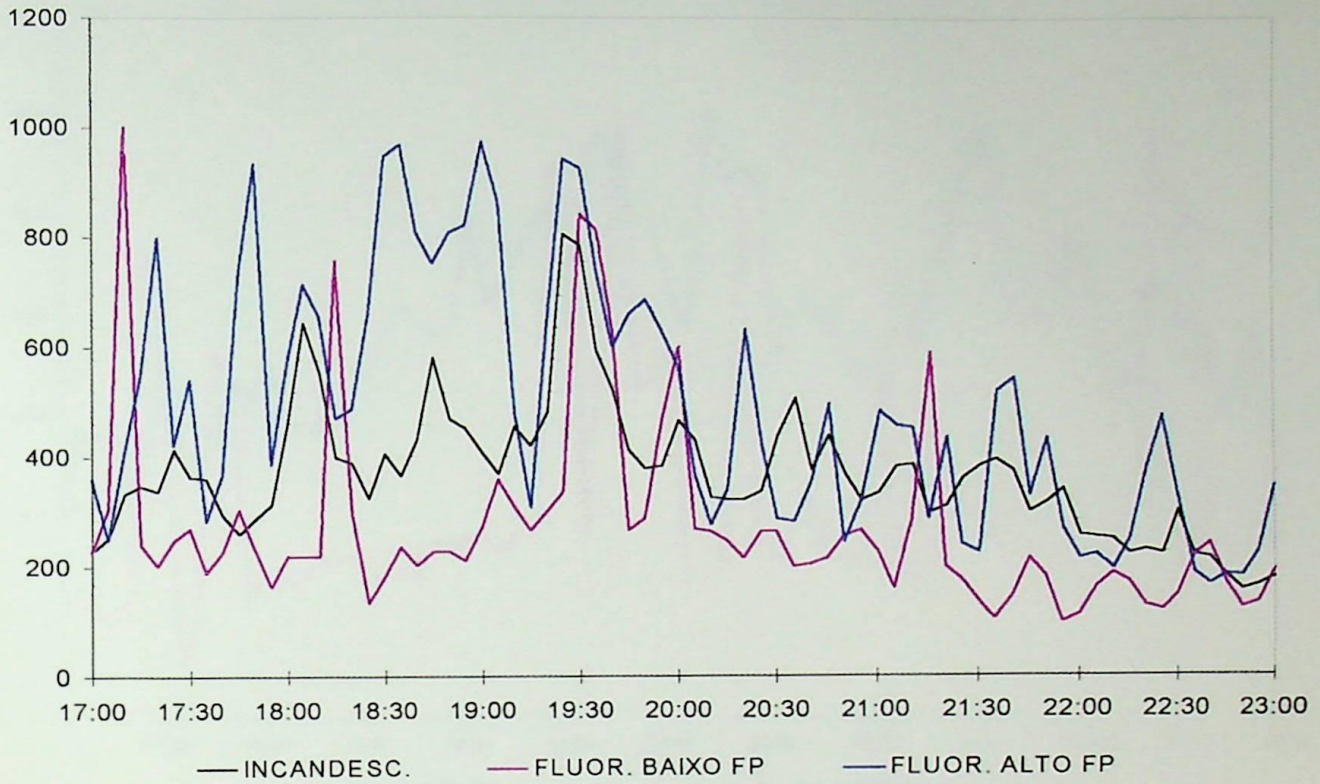


Figura B49 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor E

DEMANDA EM WATT - DIAS NÃO ÚTEIS



Figura B50 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor E

DEMANDA EM WATT - DIAS ÚTEIS

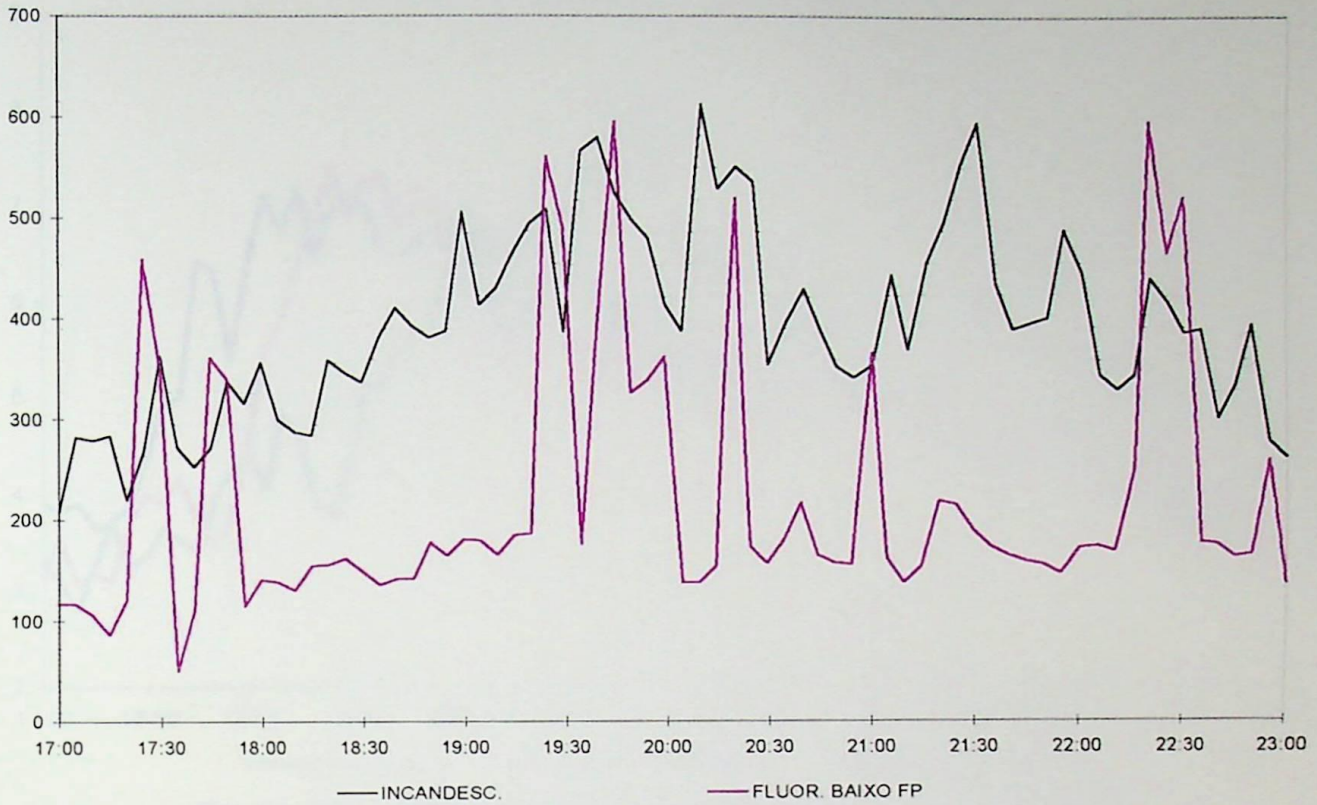


Figura B51 - Consumo médio total - Dias úteis - Consumidor F

DEMANDA EM WATT - DIAS NÃO ÚTEIS

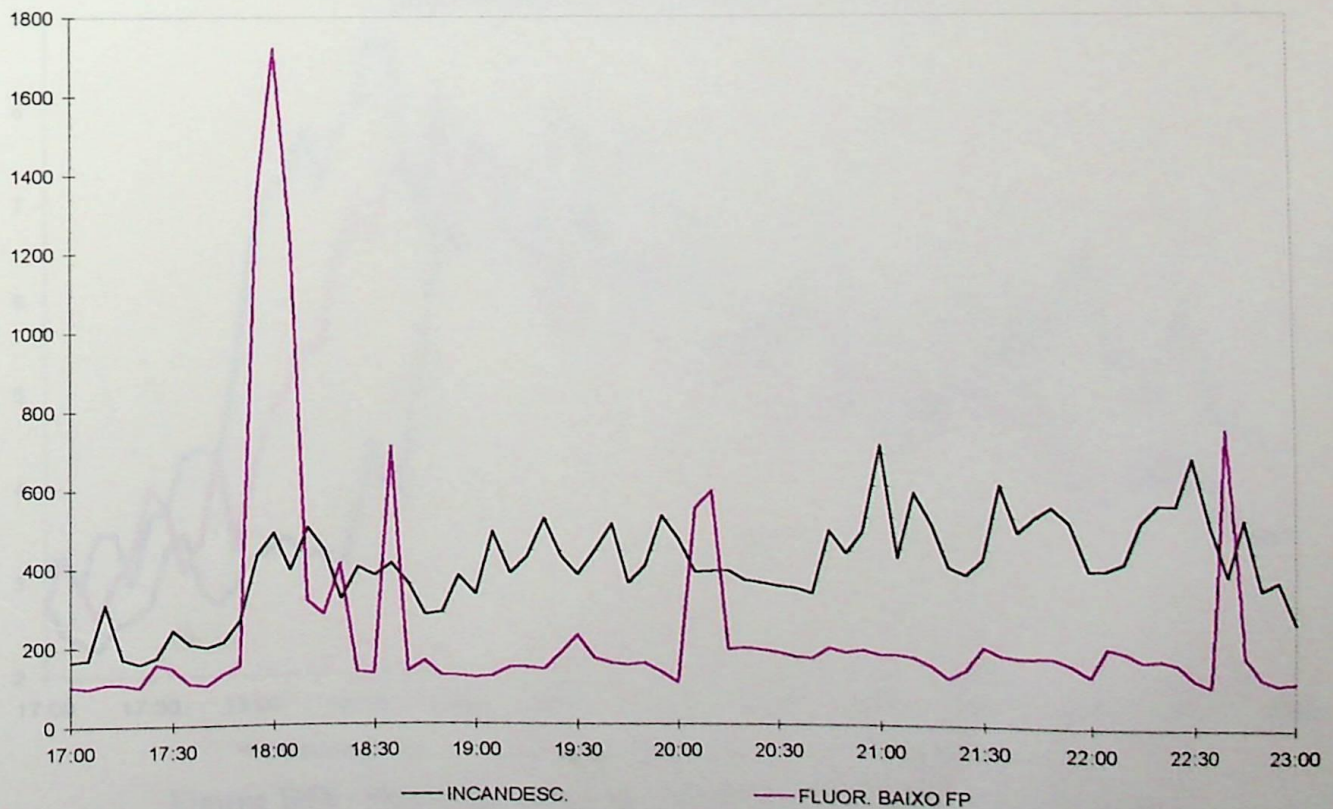


Figura B52 - Consumo médio total - Dias não úteis - Consumidor F

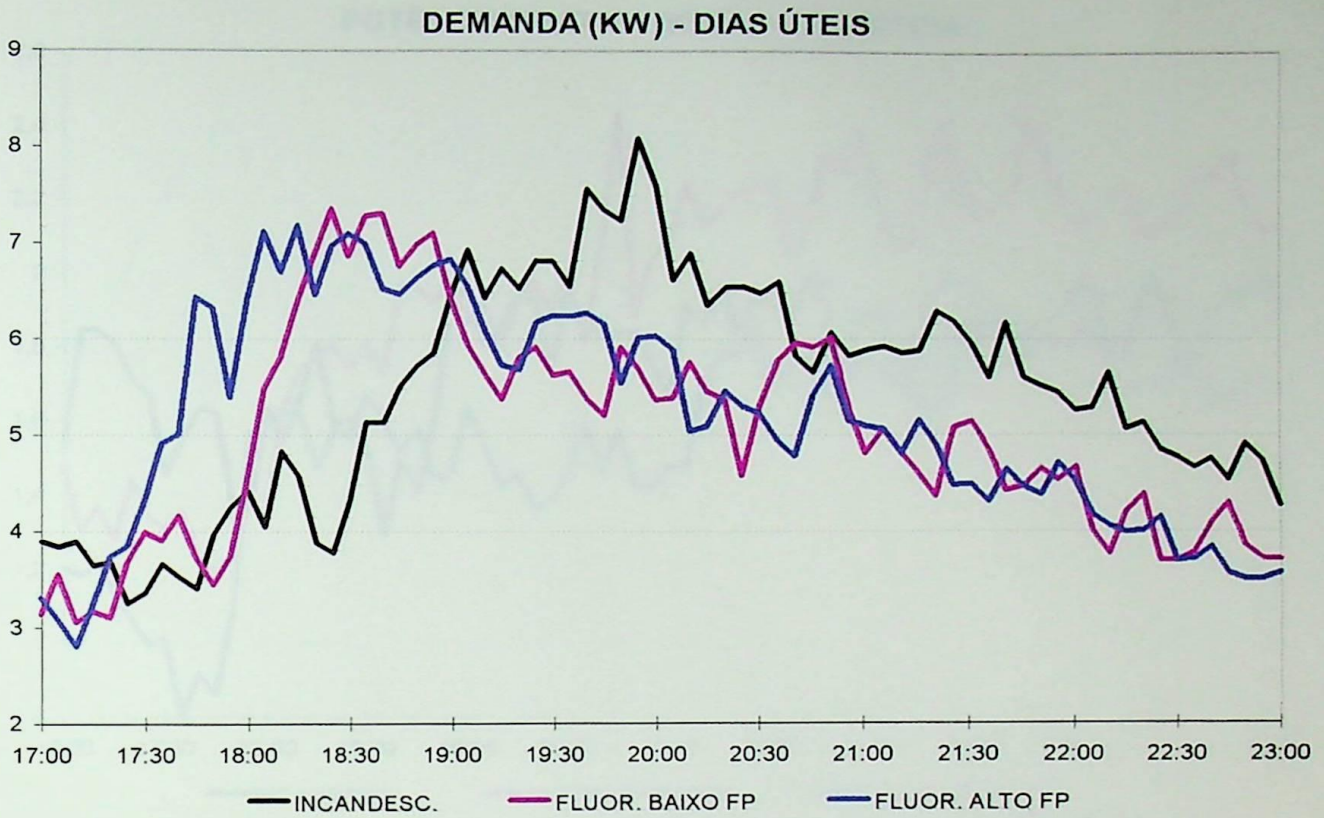


Figura B53 - Demanda média total do transformador - Dias úteis

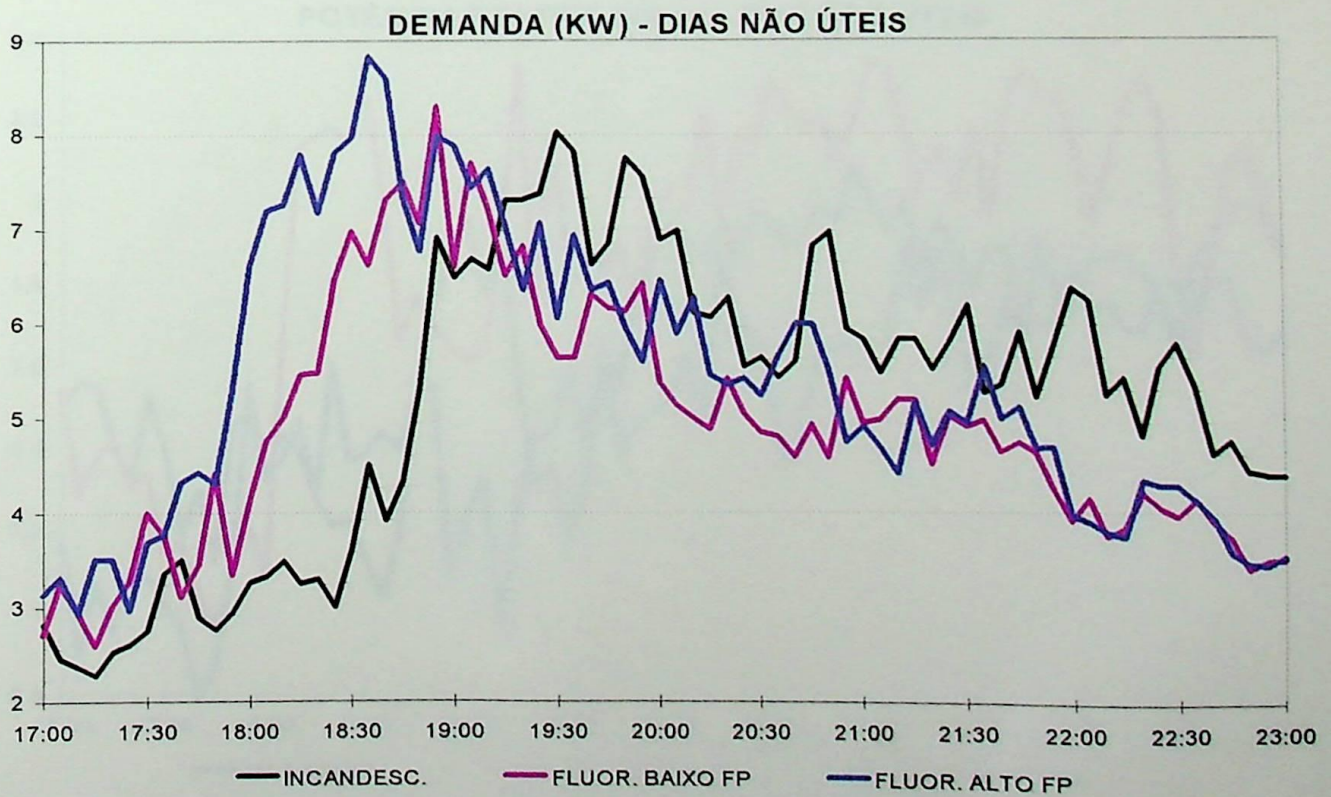


Figura B54 - Demanda média total do transformador - Dias não úteis

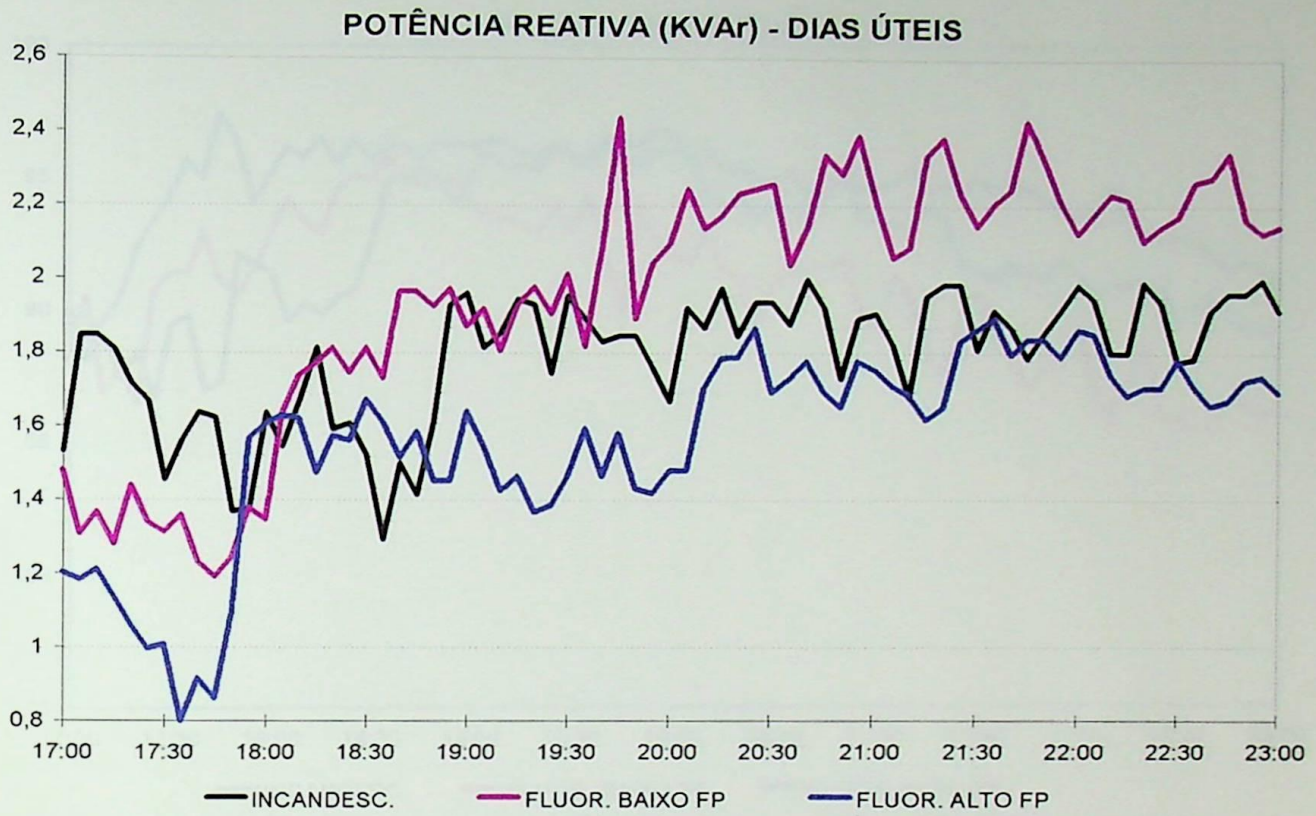


Figura B55 - Potência reativa média total do transformador - Dias úteis

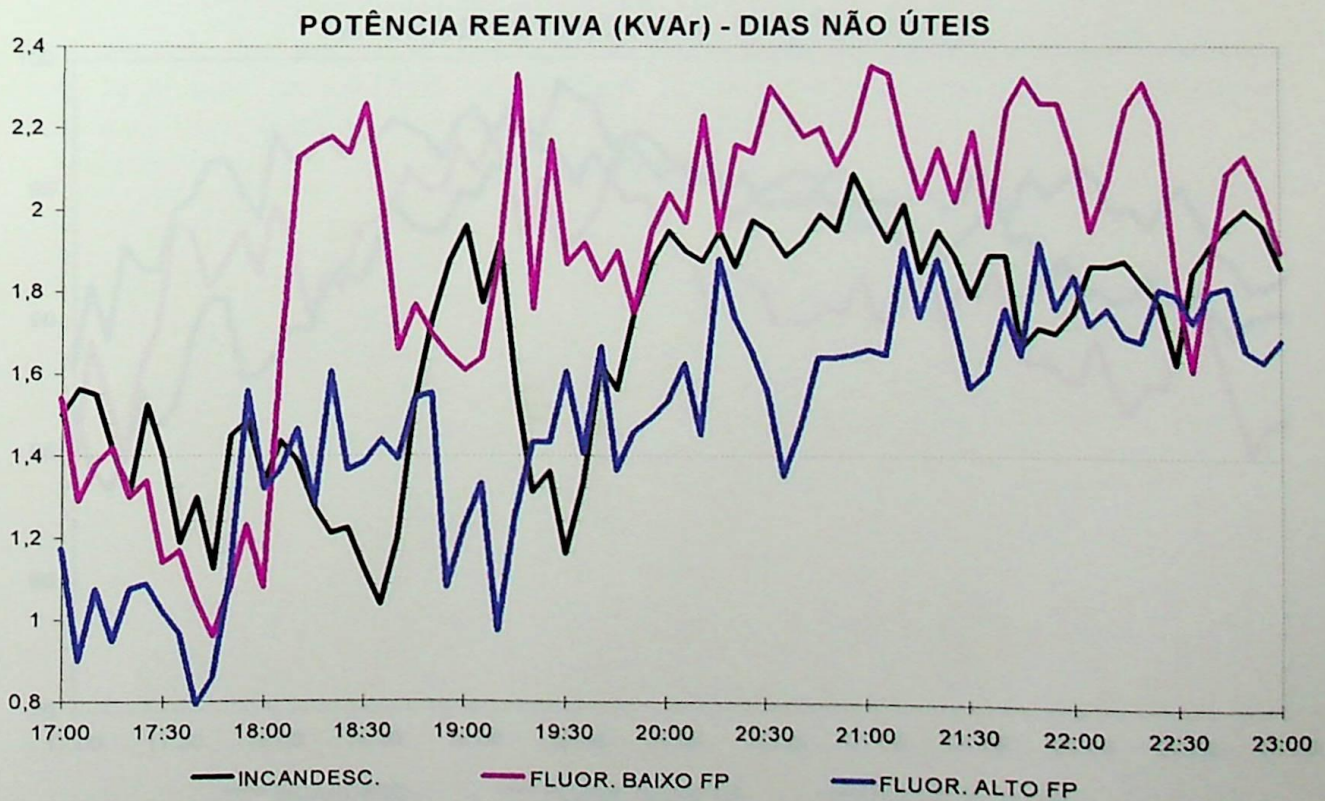


Figura B56 - Potência reativa média total do transformador - Dias não úteis

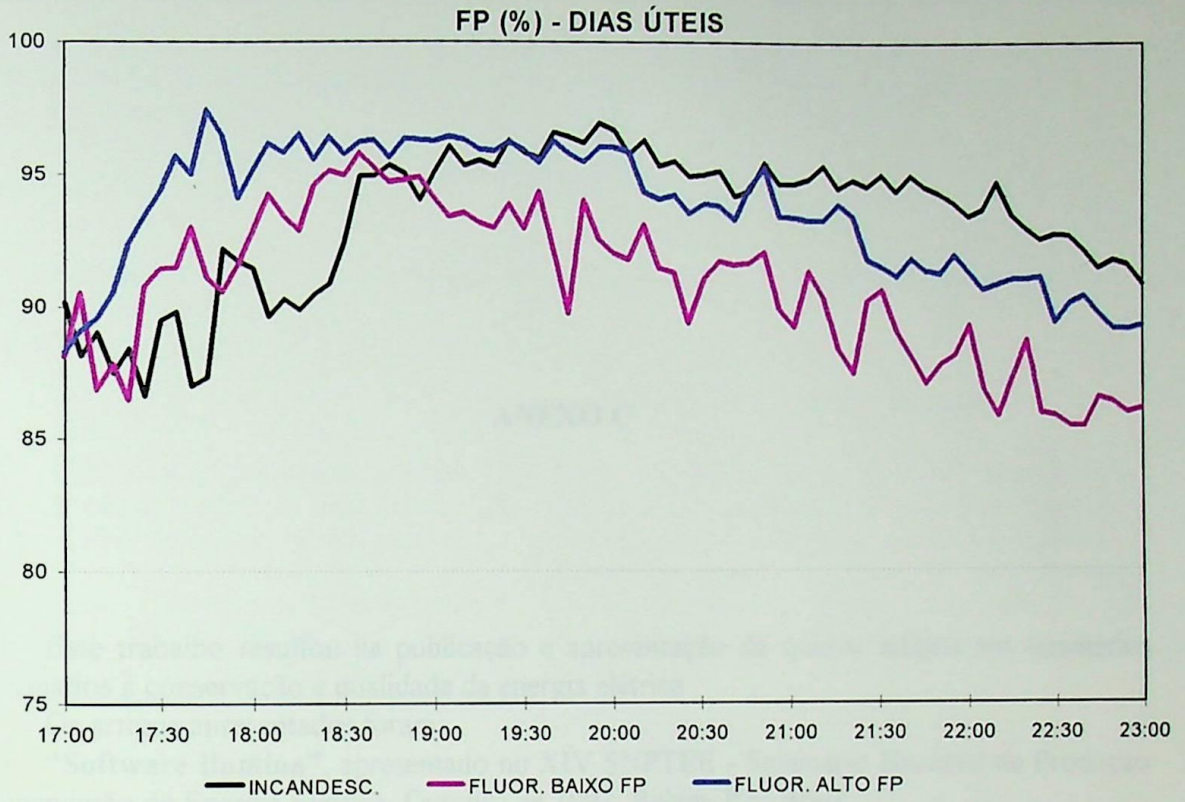


Figura B57 - Fator de potência médio do transformador - Dias úteis

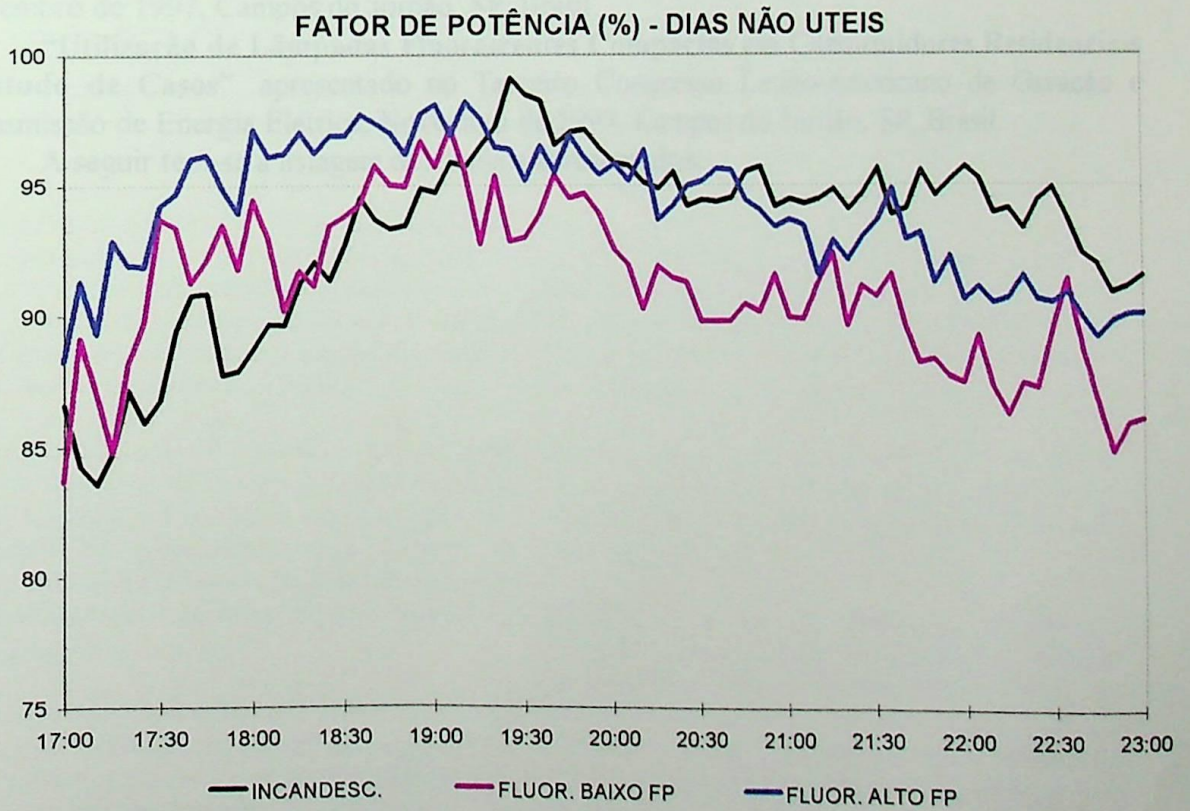


Figura B58 - Fator de potência médio do transformador - Dias não úteis

ANEXO C

Este trabalho resultou na publicação e apresentação de quatro artigos em seminários relacionados à conservação e qualidade da energia elétrica.

Os artigos apresentados foram:

“Software Ilumina”, apresentado no XIV SNTPEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Outubro de 1997, Belém, PA, Brasil.

“Interferência no Sistema Elétrico Causado pela Utilização de Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Consumidores Residenciais”, apresentado no II SBQEE - Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica, Novembro de 1997, São Lourenço, MG, Brasil.

“Conservação de Energia Elétrica Utilizando Sistemas de Iluminação”, apresentado no Terceiro Congresso Latino-americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica, Novembro de 1997, Campos do Jordão, SP, Brasil.

“Utilização de Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Consumidores Residenciais - Estudo de Casos”, apresentado no Terceiro Congresso Latino-americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica, Novembro de 1997, Campos do Jordão, SP, Brasil.

A seguir tem-se a listagem dos artigos apresentados.

XIV SNPTEE - SEMINÁRIO NACIONAL de PRODUÇÃO e TRANSMISSÃO de ENERGIA ELÉTRICA
SESSÃO TÉCNICA ESPECIAL CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (STC) - GRUPO 016
BELÉM - PA, Outubro - 1997

SOFTWARE ILUMINA

Jamil Haddad *
EFEI - Escola Federal de
Engenharia de Itajubá

Roberto Akira Yamachita
EFEI

Germano Lambert Torres
EFEI

RESUMO

Com o desenvolvimento tecnológico surgiram no mercado sistemas de iluminação mais eficientes, de dimensões menores e com vida útil mais longa.

Este artigo oferece a possibilidade de análise rápida da viabilidade econômica, levando em conta a substituição de sistemas de iluminação antigos por sistemas de iluminação com maior eficiência luminosa e menor consumo de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE

Conservação - Lâmpada - Reator - Luminária

1.0 - INTRODUÇÃO

Cerca de 4% de toda energia primária consumida no mundo hoje é gasta com iluminação. Apesar do número relativamente pequeno, ainda há um enorme potencial de otimização e redução de gastos com energia nos projetos de iluminação executados ou por fazer.

Segundo a Philips iluminação, "Se todos os esquemas de iluminação que usam o tipo de lâmpada incorreta para as tarefas em curso, fossem renovados com fontes de luz apropriadas e mais eficientes, a energia primária mundial consumida em iluminação poderia ser reduzida em cerca de 40%.

Não só para a utilização de lâmpadas adequadas, mas também de aparelhos de iluminação, será necessário uma investigação prévia antes da execução do investimento ou, considerando um projeto já executado, estudar a viabilidade de substituição, para o melhor resultado técnico-econômico de um sistema de iluminação.

Junto ao bom senso do profissional de luminotécnica, acrescentamos a proposta de um software que ajudará a tornar prático o estudo de viabilidade econômica, baseado em critérios técnicos de qualidade, para execução ou substituição de um projeto luminotécnico comercial ou industrial, para ambientes fechados.

2.0 - DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Todo projeto de iluminação deve basear-se nos requisitos de qualidade, como: conforto visual, cor/ temperatura da luz, níveis de ofuscamento e níveis de iluminância; sendo este último o mais utilizado atualmente como base de cálculo luminotécnico e os outros, ficando a cargo do bom senso e experiência do profissional.

2.1 Análise técnica

Os níveis de iluminância mínimos exigidos, seguem a norma NBR 5413 (1) para as várias atividades possíveis de serem executados num determinado ambiente.

Uma vez fixado o tipo de ambiente, devem-se escolher o tipo de luminária e o tipo de lâmpada para a instalação.

Para a escolha de lâmpadas e luminárias deve-se estar ciente das diferenças de potência, preço, eficiência luminosa, índice de reprodução de cores (IRC), vida útil, fatores de utilização e manutenção; estes últimos dependendo do índice de cavidade do ambiente, com diferentes sensibilidades para cada tipo de luminária.

Assim, existe uma variedade de aspectos a considerar, que se combinados corretamente, oferecem uma possibilidade de análise racional que levará à melhor decisão quanto aos critérios de qualidade e economia na iluminação de um ambiente.

As cores e texturas do material com que se revestem o teto, parede e piso do ambiente também influenciarão na análise devido aos diferentes índices de reflexão de cada um.

O índice de cavidade do ambiente, é um fator de avaliação das dimensões do ambiente (largura, comprimento e altura) que determinará valores de rendimento luminoso dos aparelhos de iluminação na medida em que ambientes muito altos, se comparados com a sua área total, tendem a ter boa parte da luz dispersada nas paredes.

Calcula-se o índice do ambiente por:

$$k = \frac{c \cdot l}{H \cdot (c + l)} \quad (1)$$

sendo:

H = altura do plano de trabalho até a luminária (m)

c = comprimento do local (m)

l = largura do local (m)

Em função do índice do ambiente e dos coeficientes de reflexão das superfícies, obtém-se valores tabelados de fatores de utilização (Fu) para cada tipo de luminária (6). O fator de utilização pode ser entendido como sendo o fluxo luminoso total que chega à superfície de trabalho à razão do fluxo luminoso irradiado pelas lâmpadas.

Acrescenta-se a isso o fator de manutenção (Fm), por conta da acumulação de poeira nas lâmpadas e na luminária, absorvendo parte da energia emitida pelas lâmpadas. A multiplicação dos dois fatores dá como resultado o rendimento da luminária.

$$\eta = Fu \cdot Fm \quad (2)$$

Obtém-se a quantidade de luminárias necessárias por:

$$Q = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot \phi_t} \quad (3)$$

$$\phi_t = n \cdot \phi_l \quad (4)$$

sendo

Q = quantidade de luminárias necessária

E = iluminância exigida para o local (lux)

A = área do ambiente (m²)

ϕ_t = fluxo luminoso total (lm)

ϕ_l = fluxo luminoso da lâmpada (lm)

n = número de lâmpadas por luminária

2.2 Análise econômica

Concluídos a análise técnica, passa-se à análise econômica do projeto de iluminação, que consiste de duas fases: cálculo do custo operacional anual e do custo total de investimento.

O custo operacional total anual avalia os gastos com reposição de lâmpadas, e com energia elétrica.

O custo total de investimento avalia os gastos pela compra de luminárias, lâmpadas, reatores, ignitores, para a execução do projeto.

Para o cálculo do custo operacional deve-se prever a utilização diária das lâmpadas, o número e a potência de reatores, a potência das lâmpadas, o preço médio do kWh, a vida média das lâmpadas e seu preço.

$$P_t = (NR1 \cdot P_{reat1} + NR2 \cdot P_{reat2}) \cdot Q + PLam \cdot n \cdot Q \quad (5)$$

P_t = Potência total da instalação (W)

NR1 = número de reatores simples por luminária

PREat1 = potência do reator simples (W)

NR2 = número de reatores duplo por luminária

PREat2 = potência do reator duplo (W)

Q = quantidade de luminárias

PLam = potência da lâmpada (W)

n = número de lâmpadas por luminária

$$CE = 12 \cdot UDL \cdot (P_t / 1000) \cdot DM \cdot kwh \quad (6)$$

CE = custo anual de energia (R\$)

UDL = utilização diária das lâmpadas (h)

kwh = preço do kWh (R\$)

DM = dias de funcionamento por mês

$$CRL = 12 \cdot (n \cdot Q \cdot UDL \cdot DM / VML) \cdot PreLam \quad (7)$$

CRL = custo anual de reposição de lâmpadas (R\$)

VML = vida média da lâmpada escolhida (h)

PreLam = preço da lâmpada escolhida (R\$)

$$COT = CE + CRL \quad (8)$$

COT = custo operacional total anual (R\$)

Para o cálculo do custo de investimento deve-se prever o número e o preço da luminária, reator e lâmpada escolhida.

$$CLM = PreLum \cdot Q \quad (9)$$

CLM = custo total de luminárias (R\$)

PreLum = preço da luminária escolhida (R\$)

$$CR = (NR1 \cdot PreReat1 + NR2 \cdot PreReat2) \cdot Q \quad (10)$$

CR = custo total de reatores (R\$)

PreReat1 = preço do reator simples (R\$)

PreReat2 = preço do reator duplo (R\$)

$$CL = PreLam \cdot n \cdot Q \quad (11)$$

CL = custo total das lâmpadas (R\$)

$$CMO = Q \cdot Mobra \quad (12)$$

CMO = custo total de mão de obra

$$TI = CL + CR + CLM + CMO \quad (13)$$

TI = total de investimentos (R\$)

Todos os cálculos técnicos e econômicos anteriores podem ser feitos para duas alternativas distintas e os resultados, comparados entre si, através de métodos de viabilidade econômica, para obtermos a melhor opção; os métodos utilizados são descritos a seguir:

2.2.1 Método do valor presente líquido

O método do valor presente líquido, caracteriza-se pela transferência para o instante presente de todas as variações de caixa esperadas, descontadas à taxa de atratividade.

Admitindo-se um diagrama de fluxos de caixa genérico, conforme apresentado na Figura C1, o valor presente líquido poderá ser expresso por:

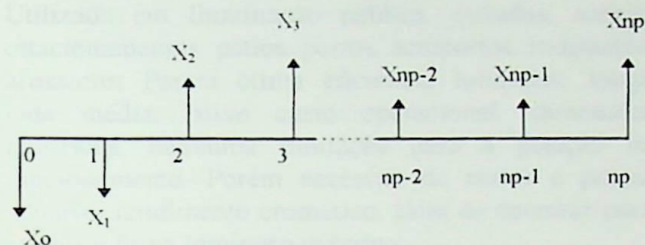


Figura C1 - Diagrama de fluxos de caixa para um projeto de investimento genérico.

$$P = \frac{X_0}{(1+i)^0} + \frac{X_1}{(1+i)^1} + \frac{X_2}{(1+i)^2} + \frac{X_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{X_{np-2}}{(1+i)^{np-2}} + \frac{X_{np-1}}{(1+i)^{np-1}} + \frac{X_{np}}{(1+i)^{np}} \quad (14)$$

Donde:

$$P = \sum_{j=0}^{np} \frac{X_j}{(1+i)^j} \quad (15)$$

Onde P representa o valor presente líquido de uma série X_j de recebimentos e desembolsos, descontados a uma taxa mínima de atratividade i , com horizonte de planejamento do projeto igual a np períodos.

2.2.2 Método da taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno de um projeto é a taxa de juros para a qual o valor presente das receitas torna-se igual ao dos desembolsos. Isto significa dizer que a taxa interna de retorno é aquela que torna nulo o valor presente do projeto.

Assim definido, a taxa interna de retorno é aquela que torna o valor dos lucros futuros equivalente ao dos gastos realizados com o projeto. Caracteriza-se desta forma, a taxa de remuneração do capital investido.

Voltando à Figura C1, a expressão matemática pode ser escrita como:

$$\sum_{j=0}^{np} \frac{X_j}{(1+ir)^j} = 0 \quad (16)$$

Onde ir representa a taxa interna de retorno de um projeto de investimento genérico.

2.2.3 Método do prazo de amortização

Este método consiste na determinação do número de períodos necessários para recuperar o capital investido. Uma vez feito isso, a administração da empresa decide sobre a aceitação do projeto com base em seus padrões de tempo para recuperação de investimentos.

2.3 Levantamento de dados

Para a realização dos cálculos anteriores, foi preciso recolher uma coleção de dados referentes à lâmpadas, luminárias, reatores, ignitores e seus respectivos preços. Os últimos foram obtidos nas lojas localizadas na região de Itajubá - MG, os outros dados foram obtidos em catálogos dos fabricantes Philips, GE, Sylvânia, Osram e Siemens.

Foram levantados preços de vários tipos de lâmpadas e para todas as potências existentes nos locais pesquisados, os valores representam os tipos de lâmpadas mais utilizados.

Os valores de vida média e fluxo luminoso das lâmpadas foram obtidos analisando-se as tendências predominantes nos catálogos.

2.4 Tipos de lâmpadas

A seguir será descrito a utilização dos principais tipos de lâmpadas existentes no mercado bem como suas vantagens e desvantagens.

2.4.1 Incandescentes

Utilizadas em ambientes residenciais, comerciais e industriais. Permite sua instalação com baixo investimento inicial sem necessidade de dispositivos auxiliares, fácil manutenção, tamanho reduzido. Por outro lado possui baixa eficiência luminosa apresentando custo de utilização elevado, além de alta produção de calor e vida média reduzida.

2.4.2 Fluorescente comum

Utilizadas largamente em iluminação comercial e industrial, estendendo também em ambientes residenciais devido a sua boa eficiência luminosa, baixo custo operacional, boa reprodução de cores. Mas possui custo elevado de instalação, pois necessita de dispositivos auxiliares.

2.4.3 Fluorescente compacta

Utilizadas em escritórios, estabelecimentos comerciais, hotéis, residências; substituindo lâmpadas incandescentes sem a necessidade de modificação, proporcionando menor consumo de energia elétrica e maior vida média. Possui a desvantagem do custo de aquisição ser elevado.

2.4.4 Luz mista

Utilizadas em armazéns, estacionamentos, áreas esportivas, jardins; substituindo lâmpadas incandescentes normais de elevada potência, sem a necessidade de reator, mas deverá ser protegido contra choques térmico e mecânico. Quando a lâmpada for desligada, esta só poderá ser reacendida após alguns minutos.

2.4.5 Vapor de sódio

Utilizada em iluminação pública, estradas, túneis, estacionamentos, pátios, portos, aeroportos, indústrias, armazéns. Possui ótima eficiência luminosa, longa vida média, baixo custo operacional, dimensões reduzidas, nenhuma limitação para a posição de funcionamento. Porém necessita de reator e possui razoável rendimento cromático, além de demorar para atingir o fluxo luminoso máximo.

2.4.6 Vapor metálico

Utilizada em áreas esportivas, iluminação pública, estacionamentos, indústrias. Possui excelente reprodução de cores, alta eficiência luminosa, longa vida média. Devem ser utilizadas somente em luminárias fechadas com vidro, necessita de reatores.

2.4.7 Vapor de mercúrio

Utilizada em estacionamentos, pátios, iluminação pública, indústrias. Possui boa eficiência luminosa, pequeno volume, longa vida média; porém demora para atingir o fluxo luminoso máximo, necessita de reator e não possui boa reprodução de cores.

3.0 - UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

3.1 Utilização do programa

Como o programa é bastante amigável, para utilizá-lo basta seguir por todas as telas e escolher entre as alternativas que se apresentam ou preencher com os valores requeridos, os respectivos campos. Os cálculos são feitos em tempo real e atualizados automaticamente em todos os campos, à medida que se modifiquem as entradas.

Para as configurações 1 e 2 de ambientes:

1º- Selecionar a ficha ambiente

Escolher o tipo de ambiente

Escolher os índices de reflexão do teto e da parede

2º- Selecionar a ficha dimensões

Entrar com a largura, comprimento e altura do local

3º- Selecionar a ficha luminária

Escolher o tipo de luminária

Escolher o tipo de lâmpada

Escolher a potência da lâmpada

Apresentam-se automaticamente na parte inferior da tela a comparação econômica desejada, entre as duas alternativas.

4.0 - EXEMPLO

Realizar um estudo de viabilidade econômica para o projeto de iluminação de um galpão industrial, com as seguintes dimensões: largura de 8 metros, comprimento de 15 metros e pé direito de 3.8 metros; e com as seguintes características: iluminamento de 400 lux, cor do teto branco, cor da parede cinza, distância da luminária ao teto de 0.2 metro, altura do plano de trabalho de 0.85 metro. Realizar o estudo para 10 anos utilizando sistemas de iluminação com 5 anos de utilização e vida útil de 10 anos utilizando lâmpadas incandescentes de 200 w substituídos por sistemas de lâmpadas fluorescentes compactas de 23 w com taxa de atratividade de 10 %. O custo de instalação de uma luminária é de R\$ 15.00.

Resolução

$$E = 400 \text{ lux}$$

$$l = 8 \text{ m}$$

$$c = 15 \text{ m}$$

$$A = l \cdot c = 8 \cdot 15 = 120 \text{ m}^2$$

H = altura pé direito - altura plano de trabalho - distância da luminária ao teto

$$H = 3.8 - 0.85 - 0.2 = 2.75 \text{ m}$$

Cálculo do índice do ambiente

$$k = \frac{c \cdot l}{(c+l) \cdot H} = \frac{15 \cdot 8}{(15+8) \cdot 2.75} = 1.90 \Rightarrow \text{índice} = E$$

Lâmpadas incandescentes

Cálculo do rendimento da luminária

$$\eta = F_u \cdot F_m$$

teto branco $\Rightarrow \rho = 75 \%$

parede cinza $\Rightarrow \rho = 50 \%$

Com estes valores encontramos [5], $F_u = 0.69$

ambiente médio, limpeza a cada 8 meses [3] $F_m = 0.77$

$$\eta = 0.5313$$

Cálculo da quantidade de luminárias

$$Q = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot \phi_t} = \frac{400 \cdot 120}{0.5313 \cdot 3100} = 29 \text{ luminárias}$$

Cálculo da potência total do sistema de iluminação

$$P_t = (NR1 \cdot P_{reat1} + NR2 \cdot P_{reat2}) \cdot Q + P_{lam} \cdot n \cdot Q$$

$$= 200 \cdot 1 \cdot 29 = 5800 \text{ W}$$

Cálculo do custo anual de energia

$$CE = 12 \cdot UDL \cdot (P_t / 1000) \cdot DM \cdot kwh = 12 \cdot 10 \cdot 5.8 \cdot 22 \cdot 0.072773 = R\$1.114,30$$

Cálculo do custo anual de reposição das lâmpadas
 $CRL = 12 \cdot (n \cdot Q \cdot UDL \cdot DM/VML) \cdot PreLam = 12 \cdot (1 \cdot 29 \cdot 10 \cdot 22/1000) \cdot 1.6 = R\122.49

Cálculo do custo operacional total anual
 $COT = CE + CRL = 1.114.30 + 122.49 = R\$1.236.79$

Cálculo do custo total das luminárias
 $CLM = PreLum \cdot Q = 17.10 \cdot 29 = R\495.90

Cálculo do custo total das lâmpadas
 $CL = PreLamp \cdot n \cdot Q = 1.6 \cdot 1 \cdot 29 = R\46.40

Cálculo do total de investimentos
 $TI = CLM + CL = 495.90 + 46.40 = R\542.30

Lâmpadas fluorescentes compactas

Cálculo do rendimento da luminária
 teto branco $\Rightarrow \rho = 75\%$
 parede cinza $\Rightarrow \rho = 50\%$
 Com estes valores encontramos $F_u = 0.69$
 $F_m = 0.77$
 $\eta = 0.5313$

Cálculo da quantidade de luminárias
 $Q = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot \phi_l} = \frac{400 \cdot 120}{0.5313 \cdot 1 \cdot 1500} = 60.23$ luminárias

Cálculo da potência total do sistema de iluminação
 $P_t = 1 \cdot 7 \cdot 61 + 23 \cdot 1 \cdot 61 = 1830$ W

Cálculo do custo anual de energia
 $CE = 12 \cdot 10 \cdot 1.83 \cdot 22 \cdot 0.072773 = R\351.58

Cálculo do custo anual de reposição das lâmpadas
 $CRL = 12 \cdot (61 \cdot 10 \cdot 22/10.000) \cdot 15.3 = R\246.39

Cálculo do custo operacional total anual
 $COT = CE + CRL = 351.58 + 246.39 = R\597.97

Cálculo do custo total das luminárias
 $CLM = PreLum \cdot Q = 17.1 \cdot 61 = R\$1.043.10$

Cálculo do custo total de reatores
 $CR = 1 \cdot 10.1 \cdot 61 = R\616.10

Cálculo do custo total das lâmpadas
 $CL = PreLamp \cdot n \cdot Q = 15.3 \cdot 61 = R\933.30

Cálculo do custo total de mão de obra
 $CMO = Q \cdot Mobra = 61 \cdot 10 = R\610.00

Cálculo do total de investimentos
 $TI = CLM + CL + CR + CMO = R\$3.202.50$

Cálculo do valor presente líquido (P)

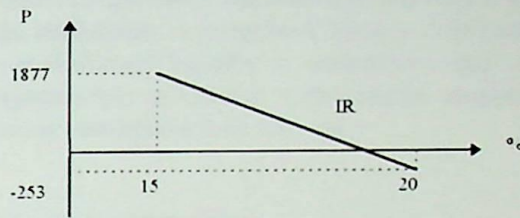
$$P = [-TI_2 + TI_1 \cdot (1 - Tu/10)] + (COT_1 - COT_2) \cdot \left\{ \frac{[(1+i)^{np} - 1]}{i \cdot (1+i)^{np}} \right\}$$

$$P = [-3.202.5 - 542.3 \cdot (1 - 5/10)] + (1.236.8 - 597.9) \cdot \left\{ \frac{[(1+0.1)^{10} - 1]}{0.1 \cdot (1+0.1)^{10}} \right\} = 995$$

Como o valor P é positivo, a substituição é viável.

Método da taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (IR) é obtida através de interpolação linear do valor presente líquido, arbitrando-se taxas de atratividade.



$$(IR - 15) / 1877 = (20 - IR) / 253 \Rightarrow IR \approx 19\% \text{ a.a.}$$

Como a taxa interna de retorno é superior à taxa mínima de atratividade, o projeto é viável.

Método do prazo de amortização

$$PA = \frac{\ln\{1 - i \cdot \frac{[-TI_2 + TI_1 \cdot (1 - Tu/10)]}{(COT_1 - COT_2)}\}}{\ln(1+i)} = \frac{\ln\{1 - 0.1 \cdot \frac{[-3.202.5 - 542.3 \cdot (1 - 5/10)]}{(1236.8 - 598.0)}\}}{\ln(1+0.1)} = 6.4 \text{ anos}$$

O prazo de amortização é aproximadamente de 77 meses.

5.0 - APRESENTAÇÃO DAS TELAS

As Figuras C2, C3, C4 e C5 apresentam alguma telas do programa com os dados de entrada.

Ambiente		Luminária		Dados Econômicos	
Dimensões					
Altura	3,8 metros	Ambiente e Reflexão			
Largura	10 metros	Tipo galpão industrial			
Comprimento	20 metros	Reflexão do teto 75 %			
Altura da Luminária ao teto	0,5 metros	Reflexão da parede 50 %			
Altura do Plano de trabalho	0,85 metros				
Número de Lâmpadas	58	Total do Investimento		R\$ 725,25	
Número de Luminárias	25	Custo Operacional		R\$ 43,68	
Caso1 / Caso2					
Vantagens da Consumidora			Vantagens da Concessionária		
Δ Custo Operacional		R\$ 105,58		Prazo de Amortização:	
Δ Total de Investimento		R\$ 60,15		0 Meses e 17 Dias	
Calculos / Banco de Dados					

Figura C2 - Dados de entrada do ambiente

Ambiente		Luminária		Dados Econômicos	
Tipo de Luminária					
calha fluorescente 2x32x40					
Tipo de Lâmpada					
fluorescente tubular comum					
Potência: 40 Watts					
Número de Lâmpadas	50	Total do Investimento	R\$ 725,25		
Número de Luminárias	25	Custo Operacional	R\$ 43,69		
Caso1 / Caso2					
Vantagens do Consumidor		Vantagens da Concessionária			
ΔCusto Operacional	R\$ 105,58	Prazo de Amortização:			
ΔTotal de Investimento	R\$ 60,15	0 Meses e	17 Dias		
Calculos / Banco de Dados / Saída					

Figura C3 - Dados da lâmpada para o caso 1

Ambiente		Luminária		Dados Econômicos	
Uso Diário da Lâmpada					
Horário de ponta: 10 horas		A1 convencional			
Horário fora de ponta: 110 horas		Preços de kW			
Número de Dias Mensais: 22 Dias		Horário de ponta: R\$ 0,0000			
		Horário fora de ponta: R\$ 4,5654			
		Preços de kWh			
		Horário de ponta: R\$ 0,0000			
		Horário fora de ponta: R\$ 0,0720			
Número de Lâmpadas	50	Total do Investimento	R\$ 725,25		
Número de Luminárias	25	Custo Operacional	R\$ 43,69		
Caso1 / Caso2					
Vantagens do Consumidor		Vantagens da Concessionária			
ΔCusto Operacional	R\$ 105,58	Prazo de Amortização:			
ΔTotal de Investimento	R\$ 60,15	0 Meses e	17 Dias		
Calculos / Banco de Dados / Saída					

Figura C4 - Dados do custo de energia

Ambiente		Luminária		Dados Econômicos	
Tipo de Luminária					
refletor industrial incandescente					
Tipo de Lâmpada					
Incandescente					
Potência: 200 Watts					
Número de Lâmpadas	42	Total do Investimento	R\$ 785,40		
Número de Luminárias	21	Custo Operacional	R\$ 149,27		
Caso1 / Caso2					
Vantagens do Consumidor		Vantagens da Concessionária			
ΔCusto Operacional	R\$ 105,58	Prazo de Amortização:			
ΔTotal de Investimento	R\$ 60,15	0 Meses e	17 Dias		
Calculos / Banco de Dados / Saída					

Figura C5 - Dados da lâmpada para o caso 2

6.0 - CONCLUSÃO

A utilização do programa ILUMINA faz-se para o cenário específico referente aos preços escolhidos. Para um caso particular de interesse, é preciso alimentar os bancos de dados em ACCESS para se obter a análise desejada. Uma vez feito isso, a utilização é automática e amigável, com uma grande facilidade de auto-ajuda.

O programa oferece uma possibilidade de análise fácil e rápida, contribuindo com as melhores alternativas para a economia de energia elétrica.

Uma vez que duas alternativas quaisquer de cada vez são analisadas, o programa oferece liberdade para que o profissional escolha a alternativa que agrade nos aspectos que se referem a decoração, estética, conforto visual, temperatura de cor, etc.

7.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Iluminância de interiores. NBR 5413. Brasil.
- (2) PHILIPS. Manual de iluminação. Brasil.
- (3) COTRIM, A.A.M.B. Instalações elétricas. Brasil.
- (4) OLIVEIRA, J.A.N. Engenharia econômica: Uma abordagem às decisões de investimento. Brasil.
- (5) GENERAL ELETRIC. Catálogo de lâmpadas e luminárias. Brasil.
- (6) PHILIPS, OSRAM, SYLVÂNIA. Catálogo de lâmpadas e reatores. Brasil.

II SBQEE - SEMINÁRIO BRASILEIRO sobre QUALIDADE da ENERGIA ELÉTRICA
SÃO LOURENÇO - MG. Novembro - 1997

Interferência no Sistema Elétrico Causado pela Utilização de Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Consumidores Residenciais

Jamil Haddad* Roberto A. Yamachita* Paulo Henrique R. P. Gama*
Antônio Carlos V. Delgado** José K. Fujiwara** Vanice Ferreira dos S. Dornellas***

* Escola Federal de Engenharia Itajubá - EFEI - Instituto de Engenharia Elétrica
Av. BPS. 1303 - 37500-000 - Itajubá/MG Tel.(035) 6291241 e-mail: jamil@iee.efei.rmg.br

** Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL *** Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Resumo - Este artigo apresenta os resultados de um programa da CPFL que incentiva a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas no segmento residencial, visando diminuir a demanda de potência e o consumo de energia elétrica no horário de pico do sistema. Como estas lâmpadas representam cargas não lineares, os harmônicos produzidos por elas também são analisados.

Palavras-chave - lâmpada fluorescente eletrônica, distorção harmônica, programa de substituição

Abstract - This article presents the results of an incentive program by CPFL. This program sets the substitution of incandescent lamps by electronic fluorescent for residential segment, aiming a reduction in power demand and energy consumption during electrical systems peak time. As those lamps represents non-linear loads, the harmonics generated by them are also studied.

Keywords - electronic fluorescent lamp, harmonic distortion, substitution program

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico surgiram no mercado sistemas de iluminação eficientes, como por exemplo, a família de lâmpadas fluorescentes eletrônicas.

Devido ao grande "marketing" feito sobre a necessidade de substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas, torna-se necessário uma análise não só do ponto de vista de redução de custos mas também sobre os aspectos da qualidade de energia, pois estas lâmpadas representam cargas não-lineares para o sistema elétrico.

2. HARMÔNICOS

Os medidores de kWh são afetados pelas componentes harmônicas, particularmente se existirem condições de ressonância resultando em altas tensões e correntes no circuito [1]. Equipamentos que utilizam discos de indução, normalmente medem só a corrente fundamental, porém, o desbalanço causado pela distorção harmônica pode gerar erros na medição dos mesmos. Estudos [2], [3] tem mostrado que ambos os erros, para mais ou para menos, são possíveis quando a distorção harmônica está presente, dependendo do tipo de medidor, e das harmônicas envolvidas. Em geral, o fator de distorção deve ser alto (> 20%) para resultar em erros significativos.

Iluminação de descarga, tais como as lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio e vapor de sódio de alta pressão, apresentam características totalmente não-lineares, e por isso distorcem as formas de onda de tensão e corrente [4]. Como mostrado posteriormente os níveis harmônicos de corrente são altos implicando em efeitos como:

- Quedas de tensão significativas para o sistema elétrico;
- Baixo fator de potência para as instalações;
- Aumento das perdas por histerese e correntes parasitas nos transformadores;

Somatório de Harmônicos

Em um sistema composto por várias fontes harmônicas, a intensidade da componente harmônica resultante depende de vários fatores, tais como [5]:

1. O ângulo de fase de cada harmônico;
2. Fator de saturação (K_s) = relação entre o número de consumidores que possuem a carga geradora de harmônicos e o número total de consumidores;
3. Fator de Simultaneidade (K_v) = relação entre o número de consumidores cujas cargas estão em funcionamento em determinado horário e o número de consumidores que possuem tal carga.
4. Fator de Dispersão (K_d) = Relação entre a soma vetorial e a soma algébrica das correntes harmônicas de determinada ordem, geradas

pelas cargas existentes - na determinação do fator de dispersão, pode-se considerar uma distribuição estatística para os ângulos de fase das correntes harmônicas entre os limites definidos de acordo com o tipo da carga geradora de harmônico.

Deste modo, consegue-se determinar as correntes harmônicas em uma determinada barra do sistema, resultante da operação de um número elevado de cargas geradoras de harmônicos, através da seguinte fórmula:

$$I_{hR} = K_s \cdot K_d \cdot K_v \cdot N \cdot I_h$$

onde:

h = ordem harmônica;

I_{hR} = Corrente harmônica resultante da operação de um número determinado de cargas geradoras de harmônicas;

I_h = Corrente harmônica gerada por uma única carga;

K_s , K_d e K_v definidos conforme anteriormente;

N = Número de consumidores residenciais alimentados pela barra em análise.

3. CASO PRÁTICO CPFL

É um programa de incentivo implantado pela Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL em cidades do interior do Estado de São Paulo, para substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas no segmento residencial, visando diminuir a demanda de potência e o consumo de energia no horário de ponta do sistema elétrico.

Esta experiência de saturação de residências com lâmpadas busca avaliar as consequências da instalação concentrada de lâmpadas fluorescentes, com base tipo rosca, que utilizam reatores eletrônicos incorporados de alto e baixo fator de potência (FP).

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram instalados equipamentos de medição nas residências e no transformador de distribuição responsável pelo suprimento destas cargas. Entre as grandezas medidas e analisadas tem-se o consumo de potência reativa, demanda de energia e o fator de potência.

Após dois meses, todas as lâmpadas incandescentes (LI) de oito consumidores residenciais (60 lâmpadas) foram substituídas por lâmpadas fluorescentes eletrônicas com reator de baixo FP (LbFP). Passados mais dois meses, estas, foram substituídas por outras lâmpadas com reator de alto FP (LaFP), que são descritas a seguir:

- L1 - Compacta de 15 W com reator de baixo FP
- L2 - Compacta de 23 W com reator de baixo FP
- L3 - Circular de 22 W com reator de baixo FP

- L4 - Circular de 32 W com reator de baixo FP
- L5 - Compacta de 20 W com reator de alto FP
- L6 - Circular de 22 W com reator de alto FP
- L7 - Circular de 32 W com reator de alto FP

Durante as medições de campo foram aplicados questionários de posse e hábitos dos consumidores para avaliar o grau de aceitação e satisfação destas lâmpadas.

-Do ponto de vista do consumidor:- A redução de energia se torna evidente pela substituição da lâmpada incandescente pela fluorescente de baixo e alto FP.

Esta redução pode ser apresentada pela curva de Demanda média (Figuras C6 e C7) de uma residência em análise para dias úteis e não úteis. A influência da iluminação na carga total da residência em análise se torna mais acentuada a partir das 22 horas.

O período de medição com lâmpadas incandescentes foi de 26/01 a 22/02/95. Com fluorescente de baixo FP foi de 09/03 a 15/03/95 e para o de Alto FP 12/05 a 11/06/95.

-Do ponto de vista da Concessionária:- Por um lado o transformador que alimenta as residências em estudo fica menos sobrecarregado. Mas por outro lado, ocorre um aumento da potência reativa do circuito. Isto acontece pelo fato das lâmpadas apresentarem um fator de potência abaixo do unitário comparado com as incandescentes.

É importante observar que devido ao fato das medições terem sido feitas em épocas distintas, ou melhor, a medição com a incandescente foi realizado num período em que vigorava o horário de verão. Deste modo os valores a serem comparados estão defasados em relação à curva das outras lâmpadas, resultando desta forma, num deslocamento da curva de demanda das lâmpadas LbFP e LaFP (Figuras C8 e C9) para a esquerda. A partir das 22 horas verifica-se que a demanda de energia com as lâmpadas incandescentes torna-se maior em relação às outras lâmpadas.

Por outro lado, a potência reativa é aumentada quando da substituição da lâmpada LI pela LbFP (Figuras C10 e C11). A mesma observação feita com relação ao período do horário de verão e a sazonalidade da época de medição deve ser levada em consideração.

As Figuras C12 e C13 mostram os fatores de potência das medições com as respectivas lâmpadas.

Os períodos de medição no transformador foram:

- LI - 15/02/95 a 07/03/95
- LbFP - 07/04/95 a 01/05/95
- LaFP - 03/05/95 a 18/06/95

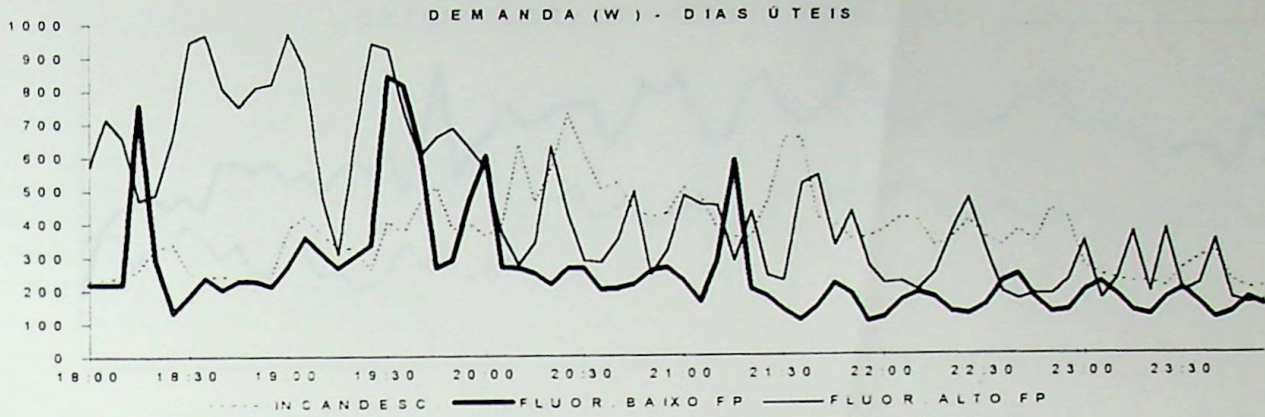


Figura C6 - Demanda de energia de um consumidor, dias úteis

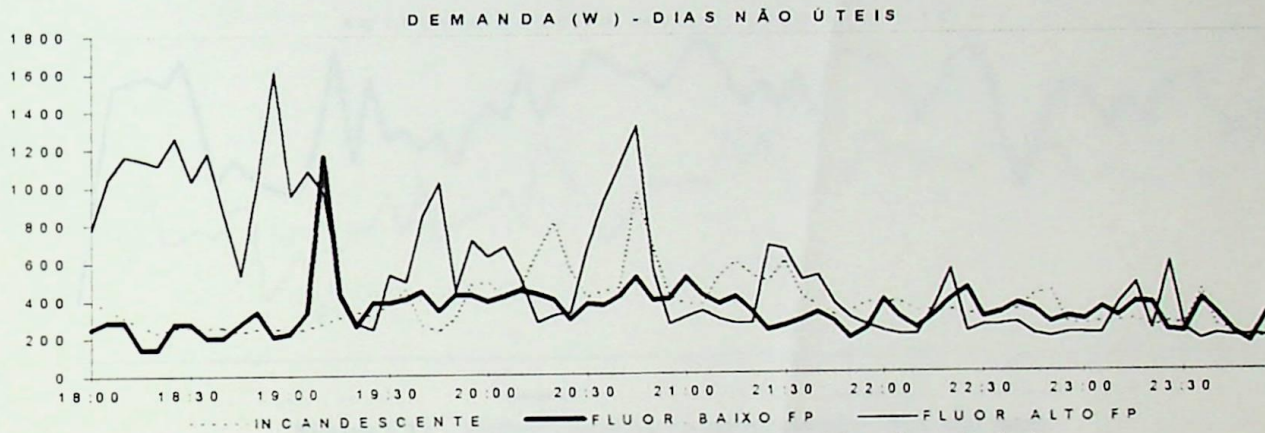


Figura C7 - Demanda de energia de um consumidor, dias não úteis

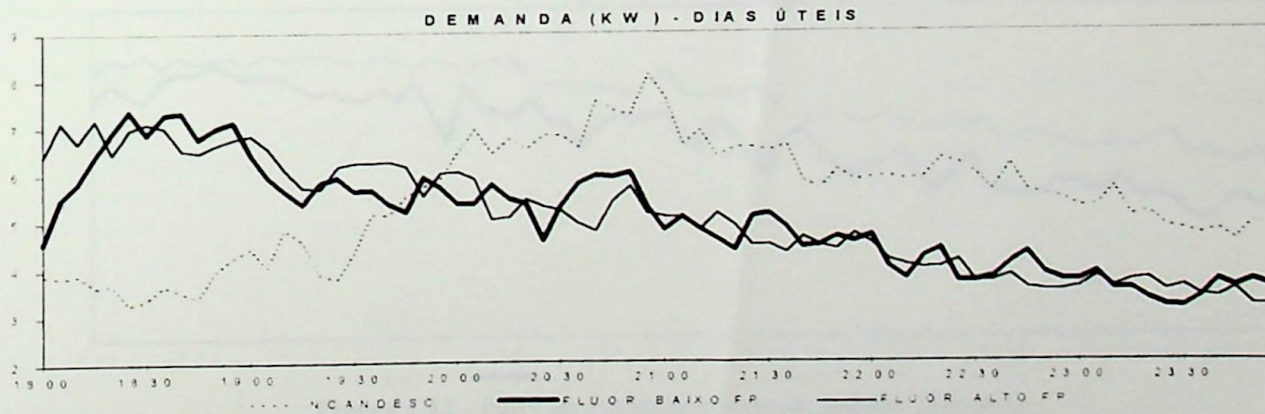


Figura C8 - Demanda de energia no transformador, dias úteis

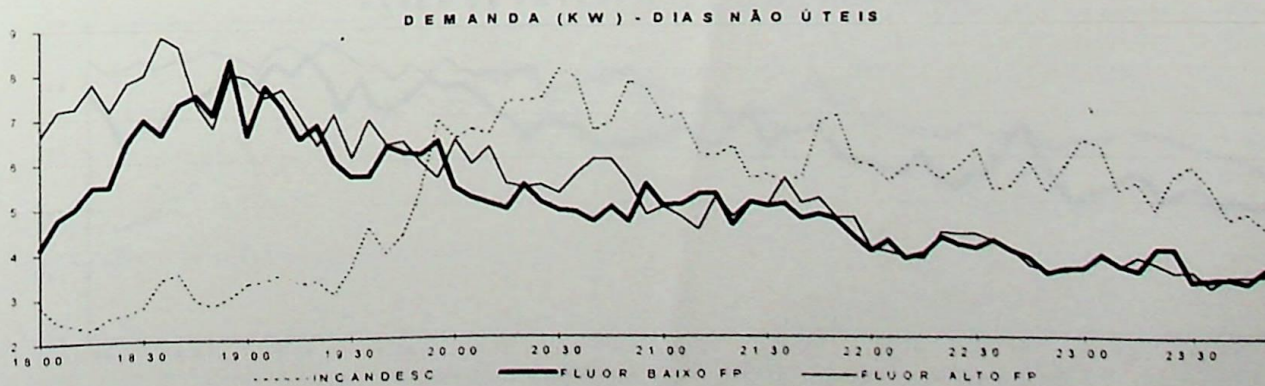


Figura C9 - Demanda de energia no transformador, dias não úteis

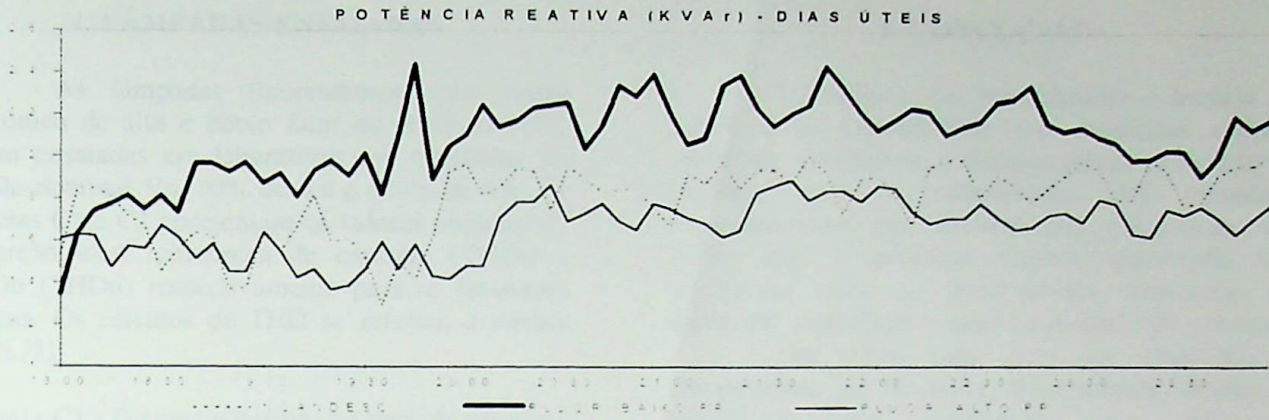


Figura C10 - Potência Reativa no transformador. dias úteis

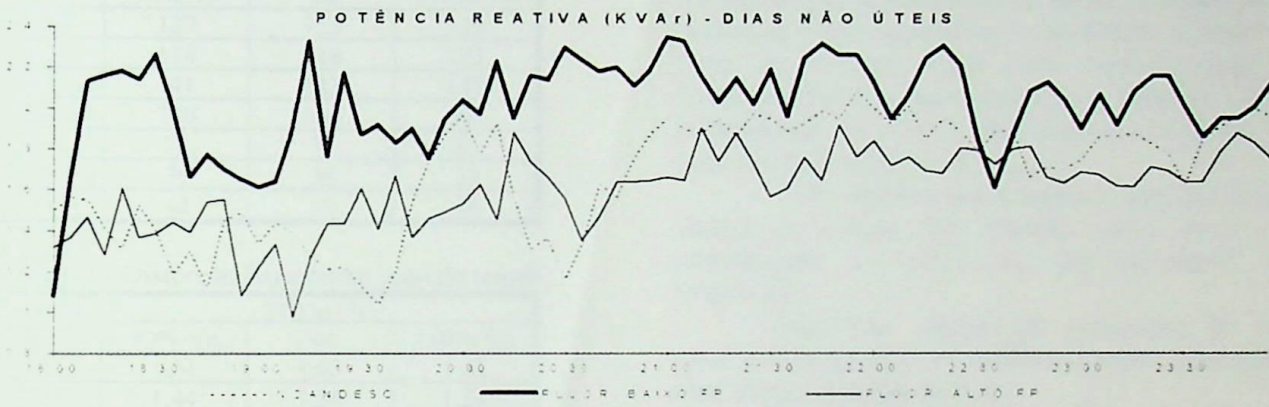


Figura C11 - Potência Reativa no transformador. dias não úteis

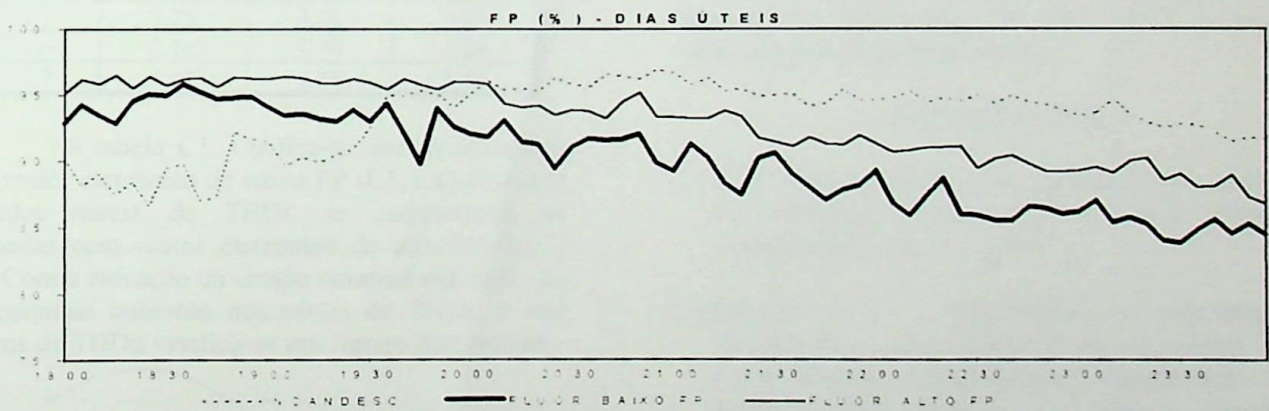


Figura C12 - Fator de Potência no transformador. dias úteis

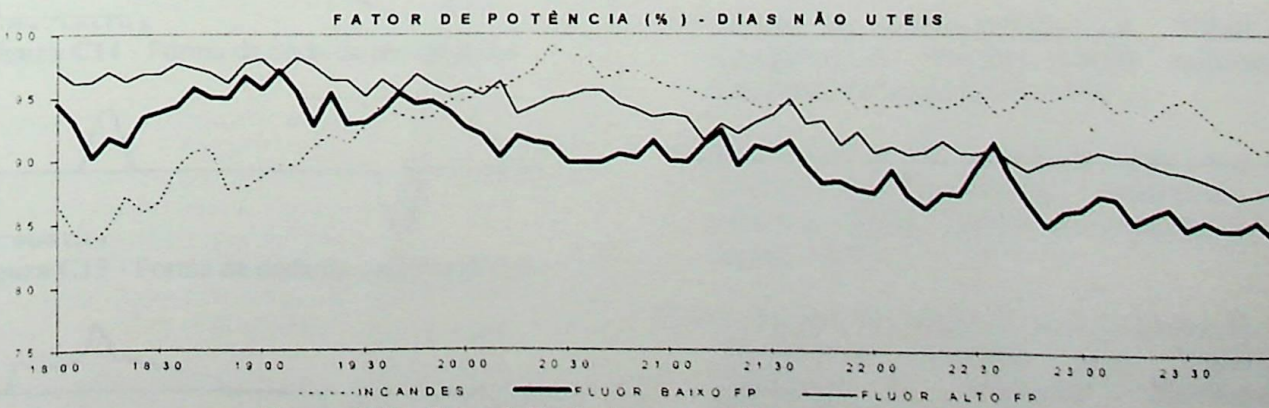


Figura C13 - Fator de Potência no transformador. dias não úteis

4. LÂMPADAS ENSAIADAS.

As lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico de alto e baixo fator de potência (FP), foram ensaiadas em laboratório sob condições de tensão nominal V_n , 90% de V_n e 110% de V_n . As Tabelas C1 e C2 apresentam os valores medidos de distorção total harmônica de corrente (THDi) e tensão (THDu) respectivamente para as lâmpadas citadas. Os cálculos de THD se referem à norma IEEE [1].

Tabela C1 - Distorção harmônica total de corrente

Lâmpada	THDi (%)		
	90% V_n	V_n	110% V_n
L1	127	135	132
L2	114	118	125
L3	141	143	147
L4	160	161	168
L5	70	75	82
L6	36	36	38
L7	42	39	38

Tabela C2 - Distorção harmônica total de tensão

Lâmpada	THDu (%)		
	90% V_n	V_n	110% V_n
L1	1.51	1.63	1.62
L2	1.44	1.56	1.51
L3	1.84	1.81	1.81
L4	1.86	1.81	1.71
L5	3.25	3.01	2.73
L6	2.16	1.90	1.94
L7	1.60	1.58	1.54

Na tabela C1, verifica-se que as lâmpadas com reator eletrônico de baixo FP (L3, L4) possuem elevados níveis de THDi, se comparadas às lâmpadas com reator eletrônico de alto FP (L6 e L7). Com a elevação da tensão nominal em 10%, há um pequeno aumento nos níveis de THDi, e nos valores de THDu verifica-se um ligeiro decréscimo.

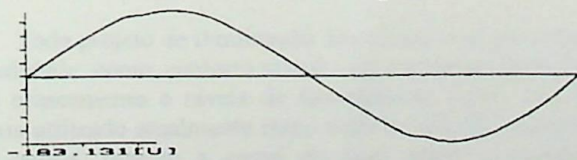


Figura C14 - Forma de onda da tensão de L4.

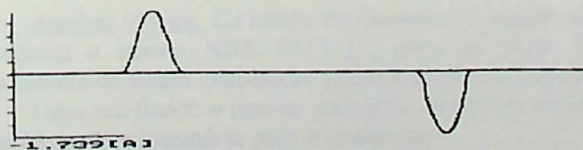


Figura C15 - Forma de onda da corrente de L4.

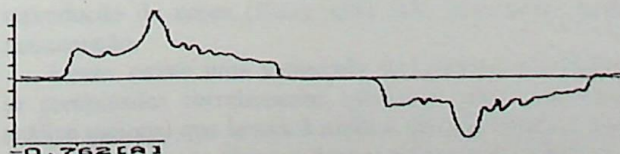


Figura C16 - Forma de onda da corrente de L7.

5. CONCLUSÃO

Levando-se em consideração o horário de verão e a sazonalidade das medições (verão-inverno), verifica-se a diminuição da demanda de energia com a substituição das lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas. Ao passo que a potência reativa apresentou um acréscimo, para as fluorescentes eletrônicas de baixo FP, reduzindo o fator de potência do sistema.

Por outro lado deve ser observado a interferência das lâmpadas fluorescentes eletrônicas devido às suas harmônicas. Que através de medições individuais realizadas em laboratório, verifica-se que as lâmpadas de baixo FP apresentam valores de THDi superiores às lâmpadas de alto FP. Cerca de 4 vezes maior para uma lâmpada de mesma potência, sendo mostrado na Tabela C1 com as lâmpadas L4 e L7 e suas respectivas forma de onda das Figuras C15 e C16.

Vale ressaltar que a análise, para um grupo grande de cargas não lineares, deve levar em consideração a influência do somatório de harmônicos.

Sugere-se quando da realização de um novo programa, que as medições sejam realizadas num mesmo período do ano.

Em termos globais o programa mostrou que a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas de alto FP é a mais vantajosa para o sistema elétrico.

6. REFERÊNCIAS

- [1] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems IEEE Std 519-1992.
- [2] Baggot, A. J., "The Effects of Waveshape Distortion on the Measurement of Energy by Tariff Meters" International Conference on Sources and Effects of Power System Disturbances, London, pp 261-267, 1974.
- [3] Faucett, M. A. and Keener, C.A., "Effect of Harmonics on Watthour Meter Accuracy" Electrical World, pp 82-84, 1945.
- [4] Siqueira Filho, J.B. "Banco de Capacitores na Presença de Harmônicos" Dissertação de Mestrado Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1995.
- [5] Rocha, A.C. O., Mello, C. A. F. e Gomes, H. N. "Harmônicos Causados pela Operação Simultânea de Televisores" Eletricidade Moderna, pp 234-242, 1997.

TERCEIRO CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
CAMPOS DO JORDÃO - SP, Novembro - 1997

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

Jamil Haddad, Germano L. Torres, Roberto A. Yamachita

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI - Departamento de Engenharia Elétrica
Campus Prof. José Rodrigues Seabra, Av BPS 1303 - Itajubá -37500-000 - MG - Brasil, e-mail: jamil@iee.efei.rmg.br

RESUMO

Com o desenvolvimento tecnológico surgiram no mercado sistemas de iluminação mais eficientes, de dimensões menores e com vida útil mais longa. Este artigo oferece a possibilidade de análise rápida da viabilidade econômica, levando em conta a substituição de sistemas de iluminação antigos por sistemas de iluminação com maior eficiência luminosa e menor consumo de energia elétrica.

INTRODUÇÃO

Cerca de 4% de toda energia primária consumida no mundo hoje é gasta com iluminação. Apesar do número relativamente pequeno, ainda há um enorme potencial de otimização e redução de gastos com energia nos projetos de iluminação executados ou por fazer.

Segundo a Philips iluminação, "Se todos os esquemas de iluminação que usam o tipo de lâmpada incorreta para as tarefas em curso, fossem renovados com fontes de luz apropriadas e mais eficientes, a energia primária mundial consumida em iluminação poderia ser reduzida em cerca de 40%".

Não só para a utilização de lâmpadas adequadas, mas também de aparelhos de iluminação, será necessário uma investigação prévia antes da execução do investimento ou, considerando um projeto já executado, estudar a viabilidade de substituição, para o melhor resultado técnico-econômico.

Junto ao bom senso do profissional de luminotécnica, acrescentamos a proposta de um software que ajudará a tornar prático o estudo de viabilidade econômica, baseado em critérios técnicos, para execução ou substituição de um projeto luminotécnico comercial ou industrial, para ambientes fechados.

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Todo projeto de iluminação deve basear-se nos requisitos de qualidade, como: conforto visual, cor/ temperatura da luz, níveis de ofuscamento e níveis de iluminância; sendo este último o mais utilizado atualmente como base de cálculo luminotécnico e os outros, ficando a cargo do bom senso e experiência do profissional.

Análise técnica. Os níveis de iluminância mínimos exigidos, seguem a norma NBR 5413 [1] para as várias atividades possíveis de serem executados num determinado ambiente.

Uma vez fixado o tipo de ambiente, devem-se escolher o tipo de lâmpada e luminária para a instalação.

Para a escolha de lâmpadas e luminárias deve-se estar ciente das diferenças de potência, preço, eficiência luminosa, índice de reprodução de cores (IRC), vida útil, fatores de utilização e manutenção.

Assim, existe uma variedade de aspectos a considerar, que se combinados corretamente, oferecem uma possibilidade de análise racional que levará à melhor decisão quanto aos critérios de qualidade e economia na iluminação de um ambiente.

As cores e texturas do material com que se revestem o teto, parede e piso do ambiente também influenciarão na análise devido aos diferentes índices de reflexão de cada um.

O índice de cavidade do ambiente, é um fator de avaliação das dimensões do ambiente (largura, comprimento e altura) que determinará valores de rendimento luminoso dos aparelhos de iluminação na medida em que ambientes muito altos, se comparados com a sua área total, tendem a ter boa parte da luz dispersada nas paredes.

Calcula-se o índice do ambiente por:

$$k = \frac{c \cdot l}{H \cdot (c + l)} \quad (1)$$

sendo:

H = altura do plano de trabalho até a luminária (m)

c = comprimento do local (m)

l = largura do local (m)

Em função do índice do ambiente e dos coeficientes de reflexão das superfícies, obtém-se valores tabelados de fatores de utilização (Fu) para cada tipo de luminária [3]. Acrescenta-se a isso o fator de manutenção (Fm), por conta da acumulação de poeira nas lâmpadas e na luminária, absorvendo parte da energia emitida pelas lâmpadas. A multiplicação dos dois fatores dá como resultado o rendimento da luminária.

$$\eta = Fu \cdot Fm \quad (2)$$

Obtém-se a quantidade de luminárias necessárias por:

$$Q = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot \phi_t} \quad (3)$$

$$\phi_t = n \cdot \phi_l \quad (4)$$

sendo

Q = quantidade de luminárias necessária

E = iluminância exigida para o local (lux)

A = área do ambiente (m²)

ϕ_t = fluxo luminoso total (lm)

ϕ_l = fluxo luminoso da lâmpada (lm)

n = número de lâmpadas por luminária

Análise econômica. Concluídos a análise técnica, passa-se à análise econômica do projeto de iluminação, que consiste de duas fases: cálculo do custo operacional anual e do custo total de investimento.

O custo operacional total anual avalia os gastos com reposição de lâmpadas, e com energia elétrica.

O custo total de investimento avalia os gastos para compra de luminárias, lâmpadas, reatores, ignitores e os custos de mão de obra para a execução do projeto.

Para o cálculo do custo operacional deve-se prever a utilização diária das lâmpadas, o número e a potência de reatores, a potência das lâmpadas, o preço médio do kwh, a vida média das lâmpadas e seu preço.

$$P_t = (NR1 \cdot PReat1 + NR2 \cdot PReat2) \cdot Q + PLam \cdot n \cdot Q \quad (5)$$

P_t = Potência total da instalação (W)

NR1 = número de reatores simples por luminária

PReat1 = potência do reator simples (W)

NR2 = número de reatores duplo por luminária

PReat2 = potência do reator duplo (W)

Q = quantidade de luminárias

PLam = potência da lâmpada (W)

n = número de lâmpadas por luminária

$$CE = 12 \cdot UDL \cdot (P_t / 1000) \cdot DM \cdot kwh \quad (6)$$

CE = custo anual de energia (R\$)

UDL = utilização diária das lâmpadas (h)

kwh = preço do kWh (R\$)

DM = dias de funcionamento por mês

$$CRL = 12 \cdot (n \cdot Q \cdot UDL \cdot DM / VML) \cdot PreLam \quad (7)$$

CRL = custo anual de reposição de lâmpadas (R\$)

VML = vida média da lâmpada escolhida (h)

PreLam = preço da lâmpada escolhida (R\$)

$$COT = CE + CRL \quad (8)$$

COT = custo operacional total anual (R\$)

Para o cálculo do custo de investimento deve-se prever o número e o preço da luminária, reator e lâmpada escolhida.

$$CLM = PreLum \cdot Q \quad (9)$$

CLM = custo total de luminárias (R\$)

PreLum = preço da luminária escolhida (R\$)

$$CR = (NR1 \cdot PreReat1 + NR2 \cdot PreReat2) \cdot Q \quad (10)$$

CR = custo total de reatores (R\$)

PreReat1 = preço do reator simples (R\$)

PreReat2 = preço do reator duplo (R\$)

$$CL = PreLam \cdot n \cdot Q \quad (11)$$

CL = custo total das lâmpadas (R\$)

$$CMO = Q \cdot Mobra \quad (12)$$

CMO = Custo total de mão de obra (R\$)

Mobra = Custo para instalação de uma luminária (R\$)

$$TI = CL + CR + CLM + CMO \quad (13)$$

TI = total de investimentos (R\$)

Todos os cálculos técnicos e econômicos anteriores podem ser feitos para duas alternativas distintas e os resultados, comparados entre si, através de métodos de viabilidade econômica, para obtermos a melhor opção: os métodos utilizados são descritos a seguir:

Método do valor presente líquido. O método do valor presente líquido, caracteriza-se pela transferência para o instante presente de todas as variações de caixa esperadas, descontadas à taxa de atratividade.

Admitindo-se um diagrama de fluxos de caixa genérico, conforme apresentado na Figura C17, o valor presente líquido poderá ser expresso por:

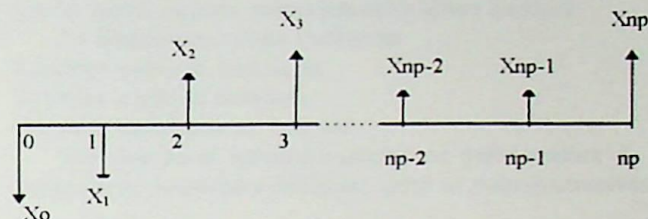


Figura C17 - diagrama de fluxos de caixa para um projeto de investimento genérico.

$$P = \frac{X_0}{(1+i)^0} + \frac{X_1}{(1+i)^1} + \frac{X_2}{(1+i)^2} + \frac{X_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{X_{np-2}}{(1+i)^{np-2}} + \frac{X_{np-1}}{(1+i)^{np-1}} + \frac{X_{np}}{(1+i)^{np}} \quad (14)$$

Donde:

$$P = \sum_{j=0}^{np} \frac{X_j}{(1+i)^j} \quad (15)$$

Onde P representa o valor presente líquido de uma série x_j de recebimentos e desembolsos, descontados a uma taxa mínima de atratividade i , com horizonte de planejamento do projeto igual a np períodos.

Método da taxa interna de retorno. A taxa interna de retorno de um projeto é a taxa de juros para a qual o valor presente das receitas torna-se igual ao dos desembolsos. Isto significa dizer que a taxa interna de retorno é aquela que torna nulo o valor presente do projeto.

Assim definido, a taxa interna de retorno é aquela que torna o valor dos lucros futuros equivalente ao dos gastos realizados com o projeto. Caracteriza-se desta forma, a taxa de remuneração do capital investido.

Voltando à Figura C17, a expressão matemática pode ser escrita como:

$$\sum_{j=0}^{np} \frac{X_j}{(1+ir)^j} = 0 \quad (16)$$

Onde ir representa a taxa interna de retorno de um projeto de investimento genérico.

Método do prazo de amortização. Este método consiste na determinação do número de períodos necessários para recuperar o capital investido. Uma vez feito isso, a administração da empresa decide sobre a aceitação do projeto com base em seus padrões de tempo para recuperação de investimentos.

Levantamento de dados. Para a realização dos cálculos anteriores, foi preciso recolher uma coleção de dados referentes à lâmpadas, luminárias, reatores, ignitores e seus respectivos preços. Os últimos foram obtidos nas lojas localizadas na região de Itajubá - MG, os outros dados foram obtidos em catálogos dos fabricantes Philips, GE, Sylvania, Osram e Siemens.

Foram levantados preços de vários tipos de lâmpadas e para todas as potências existentes nos locais pesquisados, os valores representam os tipos de lâmpadas mais utilizados.

Os valores de vida média e fluxo luminoso das lâmpadas foram obtidos analisando-se as tendências predominantes nos catálogos.

TIPOS DE LÂMPADAS

A seguir será descrito a utilização dos principais tipos de lâmpadas existentes no mercado bem como suas vantagens e desvantagens.

Incandescentes. Utilizadas em ambientes residenciais, comerciais e industriais. Permite sua instalação com baixo investimento inicial sem necessidade de dispositivos auxiliares, fácil manutenção, tamanho reduzido. Por outro lado possui baixa eficiência luminosa apresentando custo de utilização elevado, além de alta produção de calor e vida média reduzida.

Fluorescente comum. Utilizadas largamente em iluminação comercial e industrial, estendendo também em ambientes residenciais devido a sua boa eficiência luminosa, baixo custo operacional, boa reprodução de cores. Mas possui custo elevado de instalação, pois necessita de dispositivos auxiliares.

Fluorescente compacta. Utilizadas em escritórios, estabelecimentos comerciais, hotéis, residências; substituindo lâmpadas incandescentes sem a necessidade de modificação, proporcionando menor consumo de energia elétrica e maior vida média. Possui a desvantagem do custo de aquisição ser elevado.

Luz mista. Utilizadas em armazéns, estacionamentos, áreas esportivas, jardins; substituindo lâmpadas incandescentes normais de elevada potência, sem a necessidade de reator, mas deverá ser protegido contra choques térmico e mecânico. Quando a lâmpada for desligada, esta só poderá ser reacendida após alguns minutos.

Vapor de sódio. Utilizada em iluminação pública, estradas, túneis, estacionamentos, patios, portos, aeroportos, indústrias, armazéns. Possui ótima eficiência luminosa, longa vida média, baixo custo operacional, dimensões reduzidas, nenhuma limitação para a posição de funcionamento. Porém necessita de reator e possui razoável rendimento cromático, além de demorar para atingir o fluxo luminoso máximo.

Vapor metálico. Utilizada em áreas esportivas, iluminação pública, estacionamentos, indústrias. Possui excelente reprodução de cores, alta eficiência luminosa, longa vida média. Devem ser utilizadas somente em luminárias fechadas com vidro, necessita de reatores.

Vapor de mercúrio. Utilizada em estacionamentos, pátios, iluminação pública, indústrias. Possui boa eficiência luminosa, pequeno volume, longa vida média; porém demora para atingir o fluxo luminoso máximo, necessita de reator e não possui boa reprodução de cores.

UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

Como o programa é bastante amigável, para utilizá-lo basta seguir por todas as telas e escolher entre as alternativas que se apresentam ou preencher com os valores requeridos, os respectivos campos. Os cálculos são feitos em tempo real e atualizados automaticamente em todos os campos, a medida que se modificarem as entradas.

Para as configurações 1 e 2 de ambientes:

1º- Selecionar a ficha ambiente

Escolher o tipo de ambiente

Escolher os índices de reflexão do teto e da parede

2º- Selecionar a ficha dimensões

Entrar com a largura, comprimento e altura do local

3º- Selecionar a ficha luminária

Escolher o tipo de luminária

Escolher o tipo de lâmpada

Escolher a potência da lâmpada

Apresentam-se automaticamente na parte inferior da tela a comparação econômica desejada, entre as duas alternativas.

EXEMPLO

Realizar um estudo de viabilidade econômica para o projeto de iluminação de um galpão industrial, com as seguintes dimensões: largura de 10 metros, comprimento de 20 metros e pé direito de 3,8 metros; e com as seguintes características: iluminamento de 400 lux, cor do teto branco, cor da parede cinza, distância da luminária ao teto de 0,5 metro, altura do plano de trabalho de 0,85 metro. Realizar o estudo para 10 anos utilizando sistemas de iluminação com 5 anos de utilização e vida útil de 10 anos utilizando lâmpadas incandescentes de 200 W substituídos por sistemas de lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W com taxa de atratividade de 10 %. O custo para a instalação completa de uma luminária para duas lâmpadas fluorescentes é de 20 Reais.

Resolução

$E = 400 \text{ lux}$

$l = 10 \text{ m}$

$c = 20 \text{ m}$

$$A = l \cdot c = 10 \cdot 20 = 200 \text{ m}^2$$

$H = \text{altura pé direito} - \text{altura plano de trabalho} - \text{distância da luminária ao teto}$

$$H = 3,8 - 0,85 - 0,5 = 2,45 \text{ m}$$

Cálculo do índice do ambiente

$$k = \frac{c \cdot l}{(c + l) \cdot H} = \frac{20 \cdot 10}{(20 + 10) \cdot 2,45} = 2,72 \Rightarrow \text{índice} = D$$

Lâmpadas incandescentes

Cálculo de rendimento do refletor

$$\eta = F_u \cdot F_m$$

teto branco $\Rightarrow \rho = 75 \%$

parede cinza $\Rightarrow \rho = 50 \%$

Para o refletor industrial temos [3]: $F_u = 0,76$

ambiente médio, limpeza a cada 8 meses, tem-se [2], $F_m = 0,82$

$$\eta = 0,5986$$

Cálculo da quantidade de luminárias

$$Q = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot \phi_l} = \frac{400 \cdot 200}{0,5986 \cdot 3100} = 43,11 \text{ luminárias}$$

Cálculo da potência total do sistema de iluminação

$$P_t = (NR1 \cdot P_{reat1} + NR2 \cdot P_{reat2}) \cdot Q + Plam \cdot n \cdot Q = 200 \cdot 1 \cdot 44 = 8800 \text{ W}$$

Cálculo do custo anual de energia

$$CE = 12 \cdot UDL \cdot (P_t / 1000) \cdot DM \cdot kwh = 12 \cdot 10 \cdot 8,8 \cdot 22 \cdot 0,072773 = R\$1690,66$$

Cálculo do custo anual de reposição das lâmpadas

$$CRL = 12 \cdot (n \cdot Q \cdot UDL \cdot DM/VML) \cdot PreLam = 12 \cdot (1 \cdot 44 \cdot 10 \cdot 22 / 1000) \cdot 1,6 = R\$185,86$$

Cálculo do custo operacional total anual

$$COT1 = CE + CRL = 1690,66 + 185,86 = R\$1876,52$$

Cálculo do custo total das luminárias

$$CLM = PreLum \cdot Q = 17,10 \cdot 44 = R\$752,40$$

Cálculo do custo total das lâmpadas

$$CL = PreLamp \cdot n \cdot Q = 1,6 \cdot 1 \cdot 44 = R\$70,40$$

Cálculo do total de investimentos

$$TII = CLM + CL = 752,40 + 70,40 = R\$822,80$$

Lâmpadas fluorescentes

Cálculo do rendimento da luminária

teto branco $\Rightarrow \rho = 75 \%$

parede cinza $\Rightarrow \rho = 50 \%$

Para a luminária industrial tipo miller temos: $F_u = 0,69$

$F_m = 0,82$

$$\eta = 0,5658$$

Cálculo da quantidade de luminárias

$$Q = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot \phi_l} = \frac{400 \cdot 200}{0,5658 \cdot 2 \cdot 2700} = 26,18 \text{ luminárias}$$

Cálculo da potência total do sistema de iluminação

$$P_t = 1 \cdot 20 \cdot 26 + 40 \cdot 2 \cdot 26 = 2600 \text{ W}$$

Cálculo do custo anual de energia

$$CE = 12 \cdot 10 \cdot 2,6 \cdot 22 \cdot 0,072773 = R\$499,51$$

Cálculo do custo anual de reposição das lâmpadas

$$CRL = 12 \cdot (2 \cdot 26 \cdot 10 \cdot 22 / 7500) \cdot 2,5 = R\$45,76$$

Cálculo do custo operacional total anual

$$COT2 = CE + CRL = 499,51 + 45,76 = R\$545,27$$

Cálculo do custo total das luminárias

$$CLM = PreLum \cdot Q = 11,10 \cdot 26 = R\$288,60$$

Cálculo do custo total de reatores

$$CR = 1 \cdot 12,91 \cdot 26 = R\$335,66$$

Cálculo do custo total das lâmpadas

$$CL = PreLamp \cdot n \cdot Q = 2,5 \cdot 2 \cdot 26 = R\$130,00$$

Cálculo do custo total de mão de obra

$$CMO = Q \cdot Mobra = 26 \cdot 20 = R\$520,00$$

Cálculo do total de investimentos

$$TII = CLM + CL + CR + CMO = R\$1274,26$$

Cálculo do valor presente líquido (P)

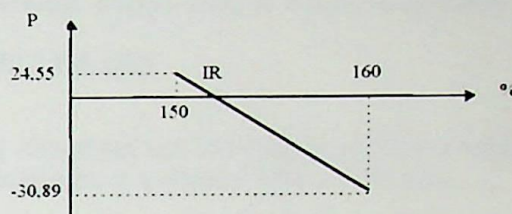
$$P = - [TII - TII \cdot (1 - T_{inst}/vida)] + (COT1 - COT2) \cdot \left\{ \frac{[(1+i)^n - 1]}{i} \cdot (1+i)^n \right\}$$

$$P = - [1274,26 - 822,80 \cdot (1 - 5/10)] + (1876,52 - 545,27) \cdot \left[\frac{(1+0,1)^{10} - 1}{0,1 \cdot (1+0,1)^{10}} \right] = 7317$$

Como o valor P é positivo, a substituição é viável.

Método da taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (IR) é obtida através de interpolação linear do valor presente líquido, arbitrando-se taxas de atratividade.



$$\frac{IR - 150}{24,55} = \frac{160 - IR}{30,89} \Rightarrow IR \approx 154 \% \text{ a.a.}$$

Como a taxa interna de retorno é superior à taxa mínima de atratividade, o projeto é viável.

Método do prazo de amortização

$$PA = \ln \{ 1 - i \cdot [TII - TII \cdot (1 - T_u/vida)] / (COT1 - COT2) \} = \ln \{ 1 - 0,1 \cdot [1274,2 - 822,8 \cdot (1 - 5/10)] / (1876,5 - 545,3) \} = 0,70$$

O investimento terá um retorno em 0,70 anos ou 8 meses.

APRESENTAÇÃO DAS TELAS

A seguir são apresentados nas Figuras C18 a C21, as telas do software ilumina em ambiente windows; estas telas se referem à entrada de dados físicos do ambiente, escolha da lâmpada e luminária, e entrada de dados econômico.

Ambiente		Luminária		Dados Econômicos	
Dimensões		Ambiente e Reflexão			
Altura	3,8 metros	Tipo	galpao industrial		
Largura	10 metros	Reflexão do teto	75 %		
Comprimento	20 metros	Reflexão da parede	50 %		
Altura de iluminação no teto	0,5 metros				
Altura do Plano de trabalho	0,85 metros				
Número de Lâmpadas	50	Total do investimento	R\$ 725,25		
Número de Luminárias	25	Custo Operacional	R\$ 43,89		
Caso1 Caso2					
Vantagens de Conceder		Vantagens de Concessionário			
ΔCusto Operacional	R\$ 100,58	Prazo de Amortização:			
ΔTotal de Investimento	R\$ 60,15	8 Meses e		17 Dias	
Calculos		Banco de Dados		Salvar	

Figura C18 - Entrada de dados físicos do ambiente

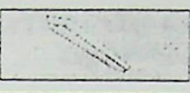
Ambiente		Luminária	Dados Econômicos
Tipo de Luminária			
calha fluorescente 2x32-40			
Tipo de Lâmpada			
fluorescente tubular comum			
Potência	40	Watts	
Número de Lâmpadas	50	Total do Investimento	R\$ 725,25
Número de Luminárias	25	Custo Operacional	R\$ 43,68
Caso1/Caso2			
Vantagens do Consumidor		Vantagens da Concessionária	
ΔCusto Operacional	R\$ 105,58	Prazo de Amortização:	
ΔTotal de Investimento	R\$ 60,15	0 Meses e	17 Dias
Calculos Banco de Dados			

Figura C19 - Escolha da lâmpada e luminária

Ambiente		Luminária	Dados Econômicos
Unidade da Lâmpada		A4 convencional	
Horário de ponta	0 horas	Preço do kWh	
Horário fora de ponta	10 horas	Horário de ponta	R\$ 0,0000
Número de Dias Menses		Horário fora de ponta	R\$ 4,9554
22 Dias		Preço do kWh	
		Horário de ponta	R\$ 0,0000
		Horário fora de ponta	R\$ 0,0778
Número de Lâmpadas	50	Total do Investimento	R\$ 725,25
Número de Luminárias	25	Custo Operacional	R\$ 43,68
Caso1/Caso2			
Vantagens do Consumidor		Vantagens da Concessionária	
ΔCusto Operacional	R\$ 105,58	Prazo de Amortização:	
ΔTotal de Investimento	R\$ 60,15	0 Meses e	17 Dias
Calculos Banco de Dados			

Figura C20 - Entrada de dados econômicos

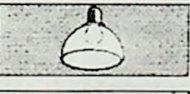
Ambiente		Luminária	Dados Econômicos
Tipo de Luminária			
refletor industrial incandescente			
Tipo de Lâmpada			
incandescente			
Potência	200	Watts	
Número de Lâmpadas	42	Total do Investimento	R\$ 705,40
Número de Luminárias	42	Custo Operacional	R\$ 149,27
Caso1/Caso2			
Vantagens do Consumidor		Vantagens da Concessionária	
ΔCusto Operacional	R\$ 105,58	Prazo de Amortização:	
ΔTotal de Investimento	R\$ 60,15	0 Meses e	17 Dias
Calculos Banco de Dados			

Figura C21 - Escolha da lâmpada e luminária para comparação dos casos em estudo

CONCLUSÃO

A utilização do programa ILUMINA faz-se para o cenário específico referente aos preços escolhidos. Para um caso particular de interesse, é preciso alimentar os bancos de dados em ACCESS para se obter a análise desejada. Uma vez feito isso, a utilização é automática e amigável, com uma grande facilidade de auto-ajuda.

O programa oferece uma possibilidade de análise fácil e rápida, contribuindo com as melhores alternativas para a economia de energia elétrica.

Uma vez que duas alternativas quaisquer de cada vez são analisadas, o programa oferece liberdade para que o profissional escolha a alternativa que agrada nos aspectos que se referem a decoração, estética, conforto visual, temperatura de cor, etc.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Iluminância de interiores. NBR 5413. Brasil.
- [2] COTRIM, A.A.M.B. Instalações elétricas. Brasil.
- [3] GENERAL ELETRIC. Catálogo de lâmpadas e luminárias. Brasil.
- [4] OLIVEIRA, J.A.N. Engenharia econômica: Uma abordagem as decisões de investimento. Brasil.
- [5] OSRAM, PHILIPS, SYLVÂNIA. Catálogo de lâmpadas e reatores. Brasil.
- [6] PHILIPS. Manual de iluminação. Brasil.

ABSTRACT

This article presents a software that will help in getting practical the economical viability study, based in technical criterias, to the execution or substitution of a commercial or industrial luminotechnical project to closed environments.

TERCEIRO CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
CAMPOS DO JORDÃO - SP, Novembro - 1997

Utilização de Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Consumidores Residenciais - Estudo de Casos

Jamil Haddad, Afonso H. M. Santos, Roberto A. Yamachita, Germano L. Torres
Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI - Departamento de Engenharia Elétrica
Campus Prof. José Rodrigues Seabra - Av. BPS. 1303 - Itajubá 37500-000 MG - e-mail: jAMIL@iee.efei.rmg.br

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de um programa que incentiva a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes eletrônicas compactas, visando diminuir a demanda de potência e o consumo de energia elétrica no horário de ponta de carga do sistema. Como estas lâmpadas representam cargas não lineares, os harmônicos produzidos também são analisados.

INTRODUÇÃO

A forma senoidal da tensão e corrente é um critério essencial de qualidade de energia elétrica distribuída pelas concessionárias de energia elétrica. Levantamentos efetuados recentemente tem demonstrado um aumento considerável na rede elétrica das cargas que distorcem as formas de onda da tensão e corrente.

No setor doméstico as principais fontes de harmônicos são: televisores, fornos de microondas, lâmpadas fluorescentes eletrônicas, micro computadores, etc. No setor industrial, a crescente complexidade e modernização dos sistemas e processos industriais exige cada vez mais o uso de equipamentos com base na eletrônica de potência.

Nos sistemas de iluminação eficientes, a família de lâmpadas fluorescentes compactas são um exemplo destas cargas não lineares.

Este artigo apresenta os resultados de um programa de incentivo implantado em cidades do Estado de São Paulo por uma empresa de energia elétrica brasileira, para substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas no segmento residencial, visando diminuir a demanda de potência e o consumo de energia no horário de ponta do sistema elétrico.

Esta experiência de saturação de residências com lâmpadas busca avaliar as consequências da instalação concentrada de lâmpadas fluorescentes compactas, com base tipo rosca, que utilizam reatores eletrônicos incorporados de baixo e alto fator de potência.

Entre as grandezas medidas e analisadas tem-se o consumo de energia, a demanda de potência, fator de potência e os harmônicos de tensão e corrente.

Efeito dos harmônicos. São vários os problemas causados por harmônicos nos sistemas e equipamentos elétricos, resumidamente tem-se:

Nos sistemas elétricos, mesmo com níveis reduzidos de harmônicos, resultam em quedas de tensão significativas, e também tem-se tensões distorcidas e desbalanceadas.

Sistemas que contenham harmônicos de corrente podem induzir harmônicos de tensão em sistemas telefônicos, provocando ruídos.

Os controladores de demanda, que utilizam eletrônica digital, são susceptíveis a falhas de operação.

Nos relés de proteção podem alterar as características de operação.

Nos medidores de energia a disco de indução, resulta em medições com erros.

LEGISLAÇÃO

A proliferação de equipamentos causadores de perturbação e a preocupação crescente sobre os seus efeitos, proporcionaram a necessidade dos governos de estabelecerem critérios e procedimentos que limitem os harmônicos a níveis aceitáveis, procurando-se estabelecer uma convivência adequada entre equipamentos perturbadores e equipamentos sensíveis aos harmônicos.

Embora o assunto não esteja ainda devidamente normatizado no Brasil, as concessionárias de energia elétrica costumam estabelecer limites nas perturbações que as cargas dos consumidores poderão provocar em seus sistemas elétricos.

O fator de distorção devido aos harmônicos de tensão e corrente servem como indicativos da presença de harmônicos em um sistema elétrico, e são definidos para fins de análise de um sistema elétrico de acordo com as expressões apresentadas a seguir:

$$FD_u \% = \sqrt{\sum_{h=2}^{nm} \left[\frac{U_h}{U_1} \right]^2} \cdot 100 \quad (1)$$

$$FD_{uh} \% = \frac{U_h}{U_1} \cdot 100 \quad (2)$$

$$FD_i \% = \sqrt{\sum_{h=2}^{nm} \left[\frac{I_h}{I_1} \right]^2} \cdot 100 \quad (3)$$

$$FD_{ih} \% = \frac{I_h}{I_1} \cdot 100 \quad (4)$$

onde:

- FD_u - Fator de distorção total da onda de tensão
- FD_{uh} - Fator de distorção individual da onda de tensão
- FD_i - Fator de distorção total da onda de corrente
- FD_{ih} - Fator de distorção individual da onda de corrente
- h - Ordem do harmônico (h = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, ...)
- nm - Máxima ordem do harmônico simulado/medido (nm = 50)
- U₁ - Tensão na frequência fundamental (fase-terra) [V]
- U_h - Harmônico de tensão de ordem h (fase-terra) [V]
- I_h - Valor eficaz do harmônico de corrente de ordem h [A]
- I₁ - Valor eficaz da corrente na componente fundamental [A]

RECOMENDAÇÕES

Aqui serão apresentadas a recomendação do IEEE (IEEE, 1992) e a recomendação brasileira (GCOL, 1993) sobre as distorções devido aos harmônicos.

Recomendação do IEEE Std 519-1992

Tabela C3 - Limite da distorção da tensão

U _{REDE AC} [kV]	FD _{uh} [%]	FD _u [%]
≤ 69	3,0	5,0
69.01 - 161.00	1,5	2,5
≥ 161.01	1,0	1,5

Tabela C4 - Limite da distorção de corrente para sistema até 69 kV

I _{sc} / I _l	ordem harmônica individual					Fd [%]
	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	h ≥ 35	
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

onde:

I_{sc} = Corrente de curto-circuito do ponto de acoplamento entre o consumidor e a concessionária

I_l = Demanda máxima de corrente da carga para o ponto de acoplamento comum

Tabela C5 - Limite de distorção de corrente em sistemas de 69 até 161 kV

I _{sc} / I _l	ordem harmônica individual					Fd [%]
	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	h ≥ 35	
< 20	2,00	1,00	0,75	0,30	0,15	2,50
20 < 50	3,50	1,75	1,25	0,50	0,25	4,00
50 < 100	5,00	2,25	2,00	0,75	0,35	6,00
100 < 1000	6,00	2,75	2,50	1,00	0,50	7,50
> 1000	7,50	3,50	3,00	1,25	0,70	10,00

Recomendação brasileira

Tabela C6 - Limites globais de tensão em porcentagem da tensão fundamental

U < 69 [kV]			
Ímpares		Pares	
Ordem	FD _{uh} [%]	Ordem	FD _{uh} [%]
3; 5; 7	5,0	2, 4, 6	2,0
9; 11; 13	3,0	≥ 8	1,0
15 a 25	2,0		
≥ 27	1,0		
FD _u = 6,0 [%]			
U > 69 [kV]			
Ímpares		Pares	
Ordem	FD _{uh} [%]	Ordem	FD _{uh} [%]
3; 5; 7	2,0	2, 4, 6	1,0
9; 11; 13	1,5	≥ 8	0,5
15 a 25	1,0		
≥ 27	0,5		
FD _u = 3,0 [%]			

Tabela C7 - Limites de tensão por consumidor em porcentagem da fundamental

U < 69 [kV]			
Ímpares		Pares	
Ordem	FD _{uh} [%]	Ordem	FD _{uh} [%]
3 a 25	1,5	Todos	0,5
≥ 27	0,7		
FD _u = 3,0 [%]			
U > 69 [kV]			
Ímpares		Pares	
Ordem	FD _{uh} [%]	Ordem	FD _{uh} [%]
3 a 25	0,6	Todos	0,3
≥ 27	0,4		
FD _u = 1,5 [%]			

RESULTADOS DO ENSAIO

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram instalados equipamentos de medição nas residências e no transformador de distribuição responsável pelo suprimento destas cargas.

Após dois meses, todas as lâmpadas incandescentes das residências (60 unidades) foram substituídas por lâmpadas fluorescentes de baixo fator de potência. Passados mais dois meses, estas, foram substituídas por outras lâmpadas de alto fator de potência.

Durante as medições de campo efetuadas nos consumidores e no transformador de distribuição foram aplicados questionários de posse e hábitos dos consumidores para avaliar o grau de aceitação e satisfação das lâmpadas.

Foram ensaiados em laboratório 16 tipos de lâmpadas de fabricação nacional e importadas submetidas à tensão nominal de trabalho V_n, e com variações de ± 10 % de V_n, obtendo-se os registros de forma de onda da tensão e corrente, fator de potência e harmônicos.

Como exemplo tem-se as Figuras C23 a C35, a seguir, que apresentam as correntes harmônicas e formas de onda de lâmpada fluorescente circulares e fluorescentes compactas com reator eletrônico e magnético.

A Figura C22 mostra os harmônicos de corrente medidos no transformador de distribuição, considerando as cargas não lineares ligadas nas residências dos consumidores em conjunto com outras cargas.

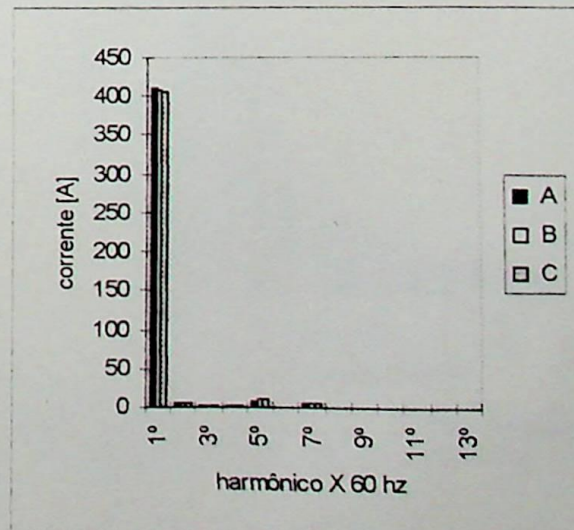


Figura C22 - Harmônicos de corrente no transformador

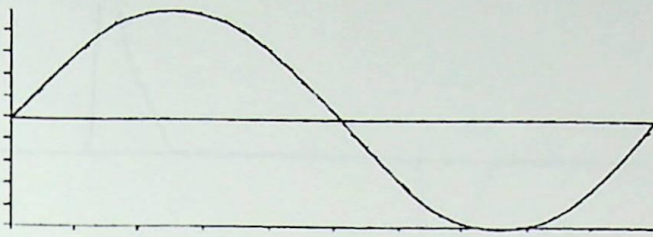


Figura C23 - Forma de onda da tensão de uma lâmpada fluorescente circular de 22 W com reator magnético

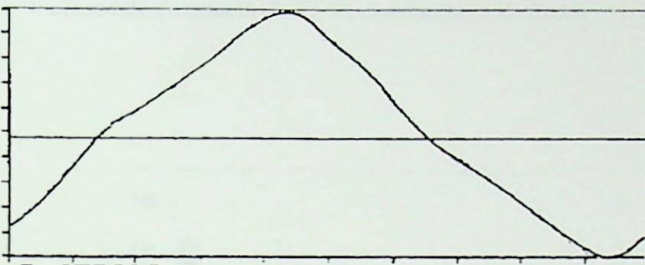


Figura C24 - Forma de onda da corrente de uma lâmpada fluorescente circular de 22 W com reator magnético

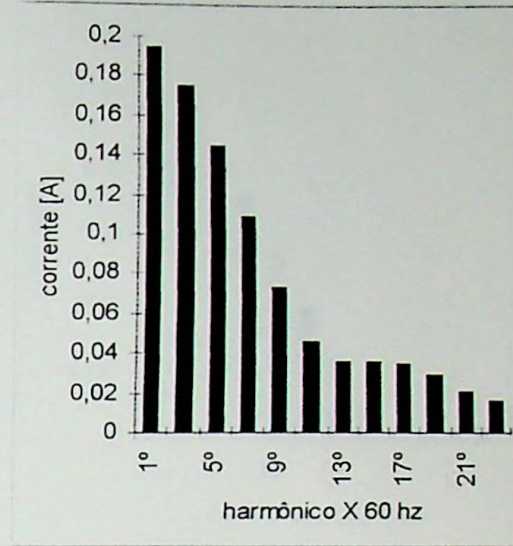


Figura C27 - Harmônicos de uma lâmpada fluorescente circular de 22 W com reator eletrônico.

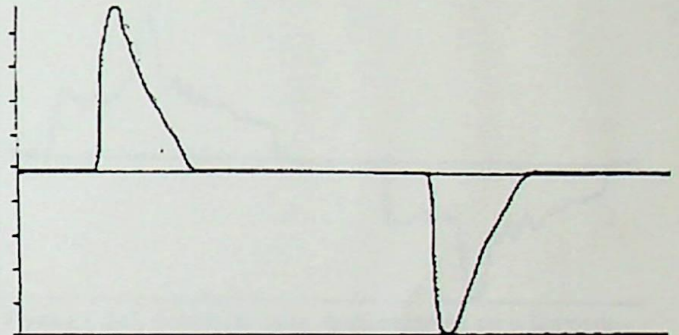


Figura C28 - Forma de onda da corrente de uma lâmpada fluorescente compacta de 23 W com reator eletrônico

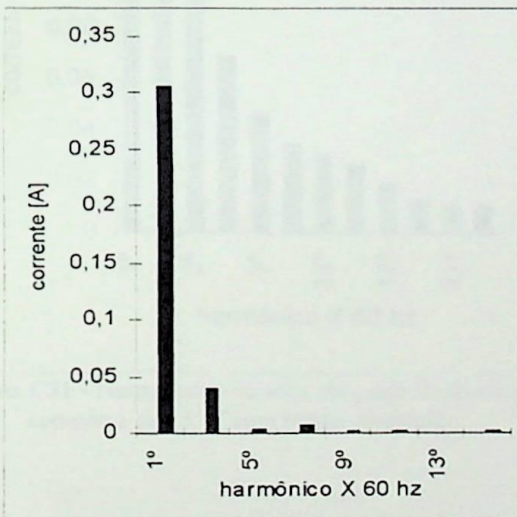


Figura C25 - Harmônicos de uma lâmpada fluorescente circular de 22 W com reator magnético



Figura C26 - Forma de onda da corrente de uma lâmpada fluorescente circular de 22 W com reator eletrônico

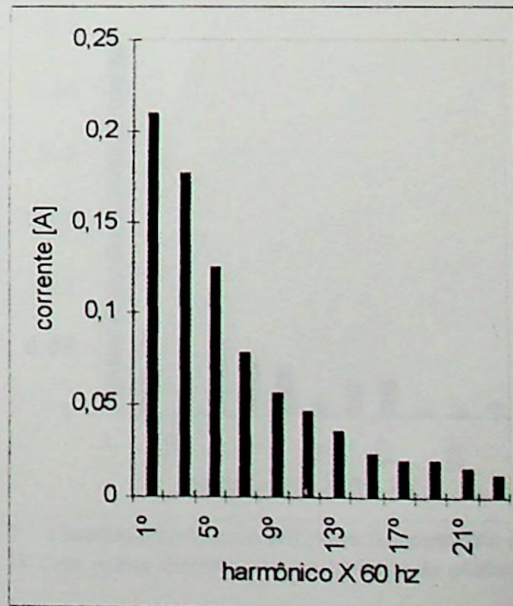


Figura C29 - Harmônicos de uma lâmpada fluorescente compacta de 23 W com reator eletrônico

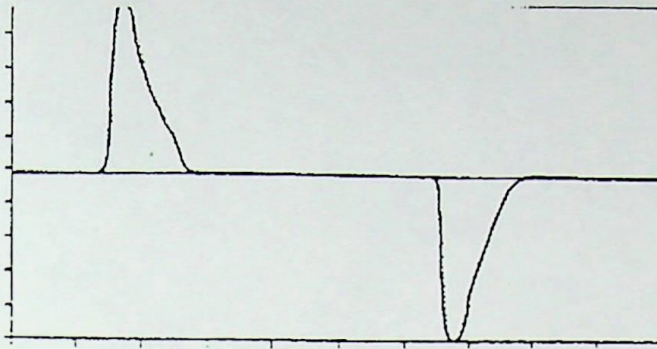


Figura C30 - forma de onda da corrente de uma lâmpada fluorescente compacta de 15 W com reator eletrônico

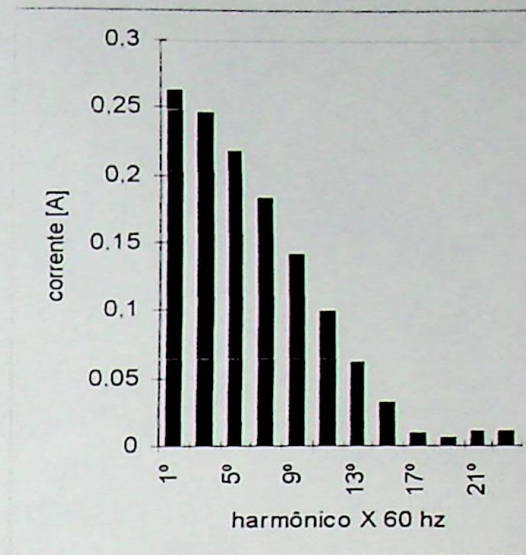


Figura C33 - Harmônicos de uma lâmpada circular de 32 W com reator eletrônico de baixo fator de potência

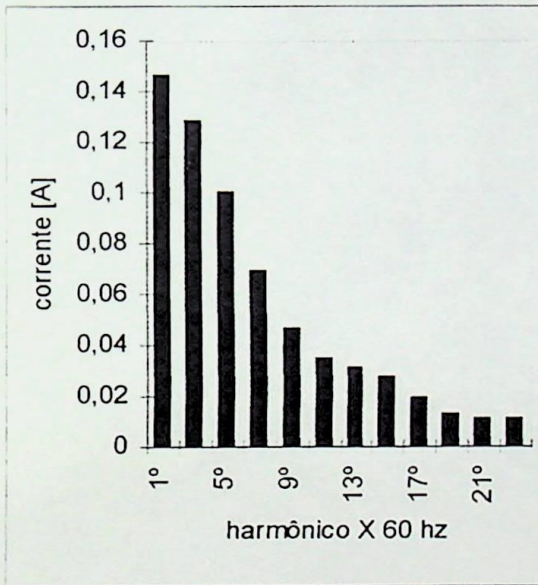


Figura C31 - Harmônicos de uma lâmpada fluorescente compacta de 15 W com reator eletrônico

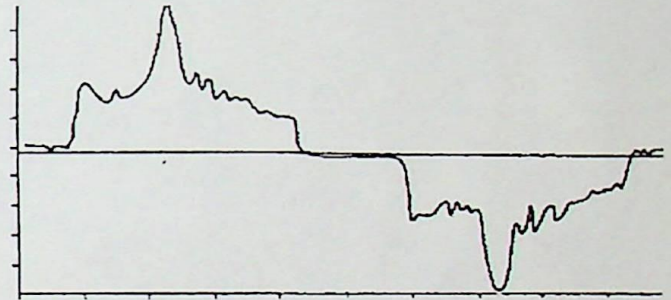


Figura C34 - Forma de onda da corrente de uma lâmpada fluorescente circular de 32 W com reator eletrônico de alto fator de potência

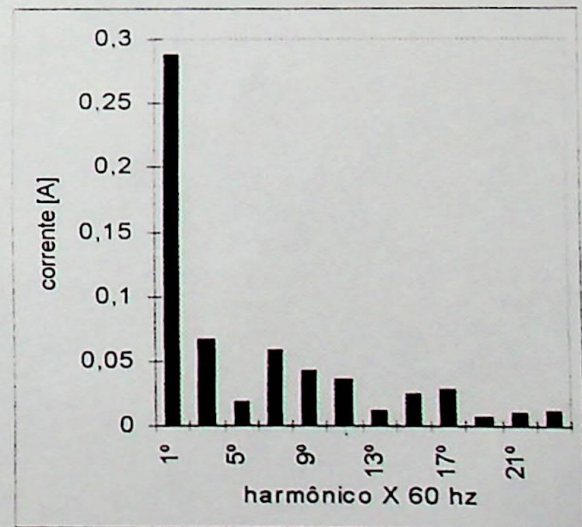


Figura C35 - Harmônicos de uma lâmpada fluorescente circular de 32 W com reator eletrônico de alto fator de potência

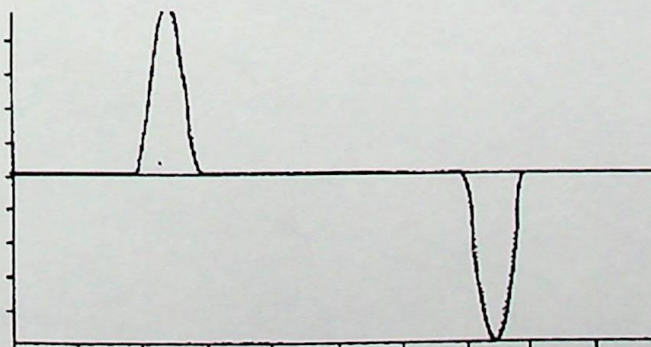


Figura C32 - Forma de onda da corrente de uma lâmpada circular de 32 W com reator eletrônico de baixo fator de potência

As Figuras C36 e C37 apresentam os resultados obtidos com a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas, estes valores foram obtidos através dos questionários de hábitos de consumo.

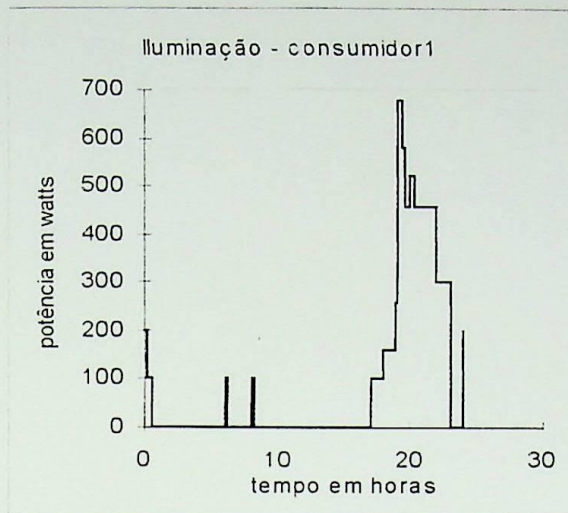


Figura C36 - Curva de carga em iluminação de um consumidor utilizando lâmpadas incandescentes

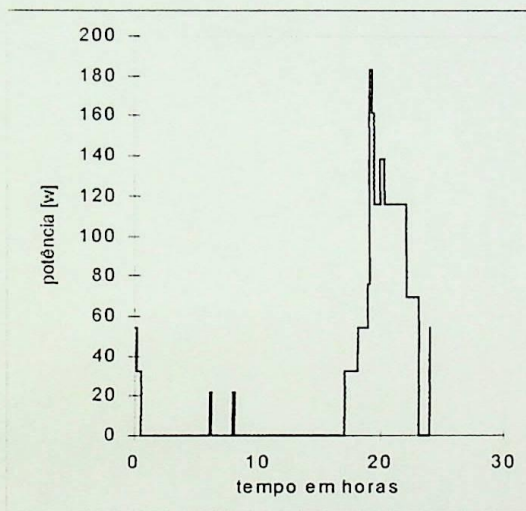


Figura C37 - Curva de carga em iluminação de um consumidor utilizando lâmpadas fluorescentes eletrônicas

As Figuras C38 e c39 apresentam respectivamente a curva de carga residencial total medido com lâmpadas incandescentes e após a substituição por lâmpadas eletrônicas

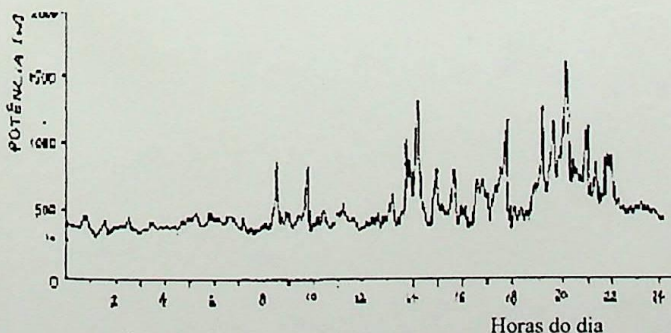


Figura C38 - Curva de carga residencial total medido com lâmpadas incandescentes

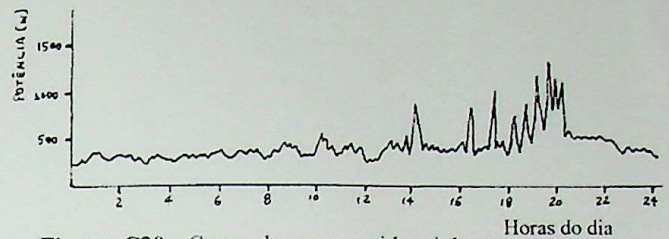


Figura C39 - Curva de carga residencial total medida com lâmpadas eletrônicas

CONCLUSÃO

Com a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas com reator eletrônico, há uma diminuição na demanda de energia elétrica, principalmente no horário de pico do sistema elétrico, onde o consumo de energia passou de 680 W para 183 W. Por outro lado, através de medições no transformador que alimenta estas casas, houve um aumento no fator de distorção total da onda de corrente, passando de 3% para 11%; devido aos harmônicos produzidos por estas lâmpadas.

BIBLIOGRAFIA

Arseneau R., Ouellette M., "The effects of supply harmonics on the performance of compact fluorescent lamps", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, pg 473-479, abril 1994.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. "Luminância de interiores", NBR 5413. Brasil.

GCOI Grupo Coordenador da Operação Interligada / SCEL Subcomissão de Estudos Eletrônicos / CECE Comissão de Estudo de Cargas Específicas " Critérios e procedimentos para atendimento a consumidores com cargas especiais" - ELETROBRÁS - fevereiro / 1993.

General Electric - Catálogos de lâmpadas e luminárias. Brasil.

IEEE Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems. IEEE Std 519 - 1992 (Revision of IEEE Std 519-1981) Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., april / 1993.

Topalis F. V., "Efficiency of energy saving lamps and harmonic distortion in distribution systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, pg 2038-2042, outubro 1994.

ABSTRACT

This article presents the results of an incentive program established in some cities around São Paulo State. This program sets the substitution of incandescent lamps by compact fluorescent lamps for residential segment, aiming a reduction in power demand and energy consumption during electrical systems peak time. As those lamps represents non-linear loads, the harmonics generated by them are also studied.

EFEI / BIBLIOTECA

ESTE LIVRO DEVE SER DEVOLVIDO NA
ÚLTIMA DATA CARIMBADA .

20/09/99		
22/09/99		
24.10.99		
30.5.2000		
04/10/2000		
27.10.2000		
14.11.00		
06/12/00		
23/12/00		
15/01/01		
05/02/01		
<hr/>		
23/02/01		
16.6.2001		
25.6.2001		
03.02.03		
18.03.03		
01.12.2001		

EFEI - BIBLIOTECA MAUÁ
8200958



NÃO DANIFIQUE ESTA ETIQUETA