



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

ADDO

1210001233



**"A Eficiência Energética
Sob a Ótica da
Qualidade de Energia
Elétrica"**

Gilvana Antunes de Melo

Ilha Solteira - SP



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

A Eficiência Energética sob a Ótica da Qualidade de Energia Elétrica

Gilvana Antunes de Melo

Luís Carlos Origa de Oliveira

Orientador

Dissertação submetida à Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Ilha Solteira - SP, setembro de 2001.

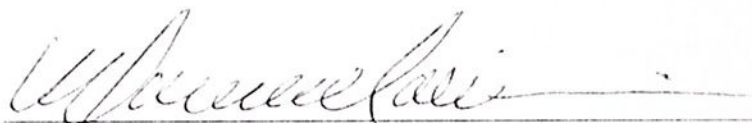
"A Eficiência Energética sob a Ótica da Qualidade de Energia Elétrica"

Gilvana Antunes de Melo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA – UNESP – COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA (ME).

1210001233



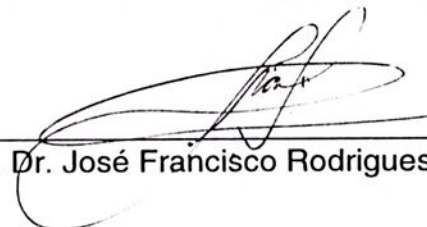

Prof. Dr. Antonio Padilha Feltrin – Coordenador

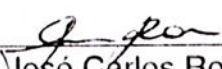
COMISSÃO EXAMINADORA:

Proc. 040/2001 - NRD 112/01

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCN. DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHEGADA	DATA DE FOLIO
02/10/01	30/10/01
Origem	Tr. 1233
ACQUIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Uso acad. Autor R\$ 10,00	


Prof. Dr. Luís Carlos Origa de Oliveira - orientador


Prof. Dr. José Francisco Rodrigues


Prof. Dr. José Carlos Rossi

30400007
ENGA. ELÉTRICA

Ilha Solteira – SP, setembro de 2001

BCpIS - FEIS - UNESP

AGRADECIMENTOS

A Deus, através de Jesus Cristo, pelo sustento e direção.

Ao meu orientador, Prof. Luis Carlos Origa de Oliveira, por sua competência, disposição e atenção a mim dispensada.

A minha mãe, por não ter medido esforços para me dar educação. Aos meus irmãos, Wilson e Giselda, os quais muito amo. E, aos meus tios Mário e Eliane pelo constante apoio.

Agradeço ao Prof. José Carlos Rossi e a Prof. Maria Aparecida Anselmo Tersitico pelas contribuições dadas ao trabalho.

Aos colegas José Wanderley Scunglia e Fausto Donizete Dantas pela cooperação durante a coleta de dados junto à concessionária de energia elétrica.

E finalmente, aos colegas do Laboratório de Qualidade de Energia Elétrica, colegas da pós-graduação, professores e funcionários da UNESP - Campos do Piauí.

*"Porque Dele, e por meio Dele, e para
Ele são todas as coisas."*

Rm 11:36a

AGRADECIMENTOS

A Deus, através de Jesus Cristo, pelo seu cuidado e direção.

Ao meu orientador, Prof. Luís Carlos Origa de Oliveira, por sua competência, disposição e atenção a mim dispensada.

A minha mãe, por não ter medido esforços para me dar educação. Aos meus irmãos, Gilson e Giselda, os quais muito amo. E, aos meus tios Mário e Eliane pelo constante apoio.

Agradeço ao Prof. José Carlos Rossi e a Prof. Maria Aparecida Anselmo Tarsitano pelas contribuições dadas ao trabalho.

Aos colegas José Wanderley Scucuglia e Fausto Donizete Dantas pela cooperação durante a coleta de dados junto à concessionária de energia elétrica.

E finalmente, aos colegas do Laboratório de Qualidade de Energia Elétrica, colegas da pós-graduação, professores e funcionários da UNESP - Campus de Ilha Solteira.



RESUMO

APOIO FINANCEIRO

Este trabalho contou com o apoio financeiro da FAPESP – Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo.



RESUMO

A maioria das plantas industriais e comerciais apresentam grande potencial para a redução do consumo de energia elétrica, quando se adota tecnologias energeticamente eficientes para diferentes usos finais. Em geral as análises que norteiam a implementação de programas de eficiência energética baseiam-se fundamentalmente em estudos de viabilidade econômica dos investimentos visando a diminuição dos custos operacionais da instalação. Ocorre entretanto que a implantação de projetos desta natureza normalmente leva a uma crescente utilização de equipamentos e dispositivos auxiliares baseados em acionamento a estado sólido, os quais, quando utilizados em larga escala acabam criando outros problemas do ponto de vista operacional, devido a perda de qualidade da energia elétrica ofertada. Neste trabalho são investigados os problemas relacionados com a qualidade da energia decorrentes de ações na busca da eficiência energética, objetivando sua caracterização e quantificação. São enfocados os principais aspectos sob o ponto de vista da oferta de energia elétrica (concessionárias) bem como da demanda (consumidores).

ABSTRACT

Most of the industrial and commercial plants present great potential for the reduction of electric energy consumption, when efficient technologies are adopted for different final uses. In general, the analysis that guide the implementation of energy efficient programs is based fundamentally in studies of economic viability of the investments, seeking the decrease of the operational costs of the installation. It happens, however that the implementation of projects of this nature usually takes to a growing use of equipment and auxiliary devices based on solid state drivers, which ones, when used in wide scale, end up creating other problems from the operational point of view, due to the loss of quality of the delivered electrical energy. In this work the problems related with the quality of energy due to the actions performed in the search of the energy efficiency are investigated, aiming its characterization and quantification. The main aspects, under the point of view of the electric energy supplier (utility company) as well as of the demand (consumers), are focused.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO II - SISTEMA DE TARIFICAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	4
2.1 – INTRODUÇÃO	4
2.2 – ESTRUTURA TARIFÁRIA	4
2.3 - ESTRUTURA TARIFÁRIA VIGENTE NO BRASIL.....	5
2.3.1 - Definições.....	5
2.3.2 - Tensões de Fornecimento.....	6
2.3.3 - Classes de Consumidores.....	6
2.3.4 - Modalidades Tarifárias.....	7
2.4 - REGULAMENTAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	10
2.4.1 - Aspectos Gerais da Legislação	10
2.4.2 - Cálculo do Fator de Potência.....	11
2.4.3 - Cálculo do Consumo da Energia Reativa Excedente e da Demanda de Potência Reativa Excedente	11
2.4.4 - Faturamento do Consumo de Energia Reativa Excedente e da Demanda de Potência Reativa Excedente	12
2.5 - FATOR DE CARGA E CUSTO MÉDIO DE ENERGIA	13
2.6 – PROCEDIMENTOS PARA OTIMIZAÇÃO DOS GASTOS COM ENERGIA ELÉTRICA.	14
2.6.1 – Modalidade Tarifária e Contrato de Demanda.....	14
2.6.2 – Energia Reativa Excedente.....	15
2.6.3 - Recuperação de ICMS.....	16
2.7 – CONCLUSÃO.....	17
CAPÍTULO III - REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	18
3.1 - INTRODUÇÃO	18
3.2 – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO.....	19
3.2.1 - Período de Retorno do Investimento.....	25
3.3 – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO	29
3.3.1 - Uso de Inversores de frequência.....	30
3.3.2 - Economia de Energia em Sistemas de Bombeamento.....	31



3.4 – CONSERVAÇÃO DE ENERGIA PELO LADO DA OFERTA.....	33
3.4.1 - <i>Circuito Selecionado para Estudo</i>	34
3.4.2 - <i>Dispositivos Eficientes Distribuídos e Instalados</i>	35
3.4.3 - <i>Resultados Obtidos</i>	37
3.5 – CONCLUSÃO.....	40
CAPÍTULO IV - ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM EQUIPAMENTOS DE EFICIÊNCIA	
ENERGÉTICA	41
4.1 - INTRODUÇÃO	41
4.2 - METODOLOGIA	41
4.3 - DISPOSITIVOS ANALISADOS.....	43
4.4 - EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO UTILIZADOS.....	44
4.5 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	45
CAPÍTULO V - EFEITO DAS FREQUÊNCIAS HARMÔNICAS NO SISTEMA	
ELÉTRICO	52
5.1 - INTRODUÇÃO	52
5.2 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	52
5.3 - FATOR DE POTÊNCIA PARA CARGAS NÃO-LINEARES.....	54
5.3.1 - <i>Potência Média (Ativa)</i>	54
5.3.2 - <i>Valor Eficaz de uma Onda</i>	55
5.3.3 - <i>Fator de Potência</i>	56
5.3.4 – <i>Perdas de acordo com o Fator de Potência</i>	57
5.4 - EFEITOS DAS HARMÔNICAS EM COMPONENTES DO SISTEMA ELÉTRICO	58
5.4.1 - <i>Influência dos Harmônicos na Operação dos Motores Elétricos</i>	58
5.4.2 - <i>Transformadores</i>	59
5.4.2.1 - Perdas no Núcleo	59
5.4.2.2 - Perdas no cobre	60
5.4.2.3 - Aquecimentos localizados	60
5.4.3 - <i>Cabos de Alimentação</i>	61
5.4.4 – <i>Correntes Harmônicas no Condutor Neutro</i>	62
5.4.4.1 - Harmônicas “Triplens”	63
5.4.4.2 - Dimensionamento do Condutor Neutro	64
5.4.4.3 - Resultados Experimentais.....	65
5.4.5 - <i>Equipamentos Eletrônicos</i>	66



5.4.6 - Aparelhos de Medição.....	66
5.4.7 - Capacitores de Potência	67
5.4.7.1 - Ressonância em Capacitores de Potência	68
5.4.7.1.1 - Ressonância Série	68
5.4.7.1.2 - Ressonância Paralela	69
5.5 - CONCLUSÃO	71
CAPÍTULO VI - CONSERVAÇÃO NA ÓTICA DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA	72
6.1. - INTRODUÇÃO	72
6.2. - O LADO DA DEMANDA	72
6.3 - O LADO DA OFERTA	77
6.3.1 - Resultados Experimentais	80
6.3.2 - Análise dos Resultados	87
6.3.3 - Cancelamento das Harmônicas.....	88
6.4 - CONCLUSÃO.....	90
CAPÍTULO VII - CONCLUSÕES GERAIS.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXO I.....	99

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil a demanda por eletricidade tem crescido a taxas em torno de 6% ao ano e, apesar disso, há ainda necessidade de continuar crescendo rapidamente. Mas, o setor elétrico vem enfrentando dilemas sérios para sua expansão. Além disso, as perdas de energia elétrica no sistema e o uso ineficiente de eletricidade são, ainda, grandes em nosso país. Por todas estas razões, aliadas ao fato de que cada nova usina pode provocar novos impactos ambientais, vem criando-se no Brasil uma nova mentalidade voltada para o combate ao desperdício de energia elétrica.

No horizonte de médio prazo, a maior de todas as fontes de energia para o futuro está na sua conservação. A conservação da energia é entendida como a soma de todas as ações voltadas para o uso eficiente da energia. A conservação desempenha um papel importante no planejamento do setor elétrico em função de suas características: os custos dos projetos de conservação são significativamente inferiores ao custo da expansão do sistema elétrico; o prazo do retorno do investimento e o prazo de maturação dos projetos são bastante reduzidos quando comparados aos da construção de usinas termelétricas e hidrelétricas.

A grande vantagem de se investir num projeto para tornar eficiente o uso da energia elétrica é que ele é mais barato do que um projeto de produção de energia. Não resta dúvida que investir em tecnologia para produtos mais eficientes sempre requer maiores investimentos. Sistemas e equipamentos mais eficientes são, em geral, mais caros que as tecnologias que eles substituem. Entretanto, o custo de conservar 1,0 kWh é geralmente mais barato que a produção da mesma quantidade de energia. Em muitas aplicações o custo da eficiência é uma pequena fração dos custos da produção de energia.

Uma grande variedade de tecnologias para a conservação de energia elétrica está disponível comercialmente para todos os setores de consumo: residencial, comercial, industrial.

No setor residencial trava-se uma batalha em busca de uma maior eficiência no uso de energia elétrica por parte dos principais grupos responsáveis pelo consumo: refrigeração, aquecimento de água e iluminação. Este setor é responsável por 28% de toda a energia elétrica

consumida no país [36]. Portanto, uma das ações para evitar o desperdício de energia elétrica em residências deve ser o estímulo à aquisição de aparelhos elétricos eficientes.

Os consumidores do setor comercial pagam uma tarifa relativamente alta de energia elétrica quando comparado aos outros setores, essas taxas acabam indiretamente sendo um incentivo à conservação de energia elétrica. Existe disponível no mercado, para este setor, uma vasta quantidade de produtos energeticamente eficientes.

A busca da competitividade dos produtos industriais brasileiros no mercado internacional em decorrência da globalização da economia, vem motivando o setor industrial a fazer investimentos que busquem a redução no consumo de energia elétrica.

Para minimizar as despesas com eletricidade, deve-se atuar, simultaneamente, sobre o consumo e a demanda, reduzindo a solicitação de cada um desses fatores. Para isso, é necessário o conhecimento da estrutura tarifária, bem como das características que permitem uma atuação mais econômica. Portanto, no Capítulo II será visto a estrutura tarifária vigente no Brasil, e que a tarifação horo-sazonal é o grande passo para aproveitar racionalmente a disponibilidade de energia, quer por parte da concessionária, quer por parte do consumidor.

Numa primeira etapa, o consumo é acompanhado a partir de análise mensal das faturas apresentadas pelas concessionárias. A partir dos dados da conta de energia elétrica, realiza-se um estudo minucioso, num período mínimo de 1 ano, da demanda, do fator de carga e do fator de potência. Tenta-se, depois desta análise preliminar, uma ação imediata na busca da redução do custo mediante a otimização do horário de uso da energia elétrica (redução do pico de carga e preenchimento dos vales da curva de carga) ou através da mudança do tipo de tarifa. Verifica-se, ainda, a viabilidade de instalações de bancos de capacitores, pois um baixo fator de potência implica penalidades tarifárias aplicadas pela concessionária de energia.

Uma outra forma de redução do consumo de energia elétrica é a elevação da eficiência dos equipamentos, ou seja, a troca por produtos mais eficientes do ponto de vista do consumo energético. Dentre as inúmeras propostas para o uso racional da energia elétrica destacam-se: a utilização de motores AC com velocidade variável, a compensação de reativos, a troca de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas, o uso de lâmpadas fluorescentes tubulares de alta eficiência com reatores eletrônicos, etc. Será objeto de estudo do Capítulo III o uso destas tecnologias energeticamente eficientes e a sua contribuição para a diminuição das despesas com energia elétrica.

Apesar de serem bastante atrativas, muitas das medidas de conservação de energia podem, no entanto, resultar em efeitos negativos sobre o sistema elétrico, principalmente com relação aos problemas associados à qualidade da energia elétrica.



Dispositivos de economia de energia, ou seja, energeticamente mais eficientes, uma vez instalados dentro dos locais consumidores alcançam seus objetivos, os quais são reduzir o consumo de potência da carga, mas a um custo bem considerável de distorção na tensão e corrente do sistema de distribuição. Através dos ensaios executados em laboratório e apresentados no Capítulo IV, poder-se-á verificar estas distorções.

A Qualidade de Energia abrange todos os aspectos associados com amplitude, fase e frequência da tensão e corrente. Ela tem ganhado importância ao decorrer dessa última década devido a proliferação de aparelhos eletrônicos que, de um lado são poluidores em potencial da rede elétrica, e, de outro, são inerentes a uma sensibilidade operacional, culminando em operações indevidas ou mesmo a uma falha de funcionamento.

À medida que, o avanço tecnológico coloca no mercado equipamentos sensíveis a pequenas variações da alimentação de energia elétrica e, até mesmo outros equipamentos, que dadas as suas características, poluem o sistema com a geração de sinais com frequências diferentes da nominal, um estudo sobre os efeitos das frequências harmônicas nos componentes do sistema elétrico de potência se faz necessário, e isto será feito no Capítulo V.

Visto que o chamado “efeito das harmônicas”, distorções nas formas de onda de corrente e tensão, são capazes de provocar incriveis influências no comportamento das redes elétricas em geral, tanto de uso domiciliar, comercial ou industrial, uma investigação sobre a influência dos dispositivos energeticamente mais eficientes nos circuitos elétricos de uma instalação, torna-se imprescindível para que se possa compreender a parcela de contribuição de cada estabelecimento ou consumidor como agente de perturbação da qualidade da energia da rede elétrica da concessionária. No Capítulo VI será tratado deste assunto.

E, o Capítulo VII será a conclusão geral deste trabalho.

1.2 – Estrutura Tarifária

Regulando o sistema de tarifa de energia elétrica, ela visa não apenas prover um retorno financeiro suficiente para os agentes que realizam investimentos e operam o sistema, como também, servir de referência para os consumidores, indicando-lhes onde e quando o fornecimento de energia elétrica é mais barato.

Na busca de parâmetros para a definição do sistema tarifário, o Governo Federal, através do decreto nº 49463 de 13/10/83, definiu a estrutura tarifária para a energia elétrica em



CAPÍTULO II

SISTEMA DE TARIFICAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

2.1 – Introdução

As auditorias energéticas realizadas para os usuários de energia elétrica buscam inicialmente otimizar os gastos com energia elétrica decorrentes da metodologia utilizada na tarifação. Neste sentido os procedimentos adotados objetivando reduzir o valor final pago pelo uso da energia elétrica, referem-se basicamente a três fatores. O primeiro relaciona-se com a escolha, quando possível, do sistema tarifário mais adequado e a adequação dos contratos de demanda em função das curvas de carga apresentadas pelos consumidores. O segundo está ligado a identificação e eliminação de sobretaxas oriunda de faturamento do excedente de reativos. Finalmente, quando for o caso, realiza-se um levantamento da parcela da carga total instalada que está diretamente associada ao processo produtivo do consumidor no sentido de promover a recuperação de parte do ICMS (Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços).

Este tipo de análise, normalmente, é realizado através de um estudo minucioso das faturas mensais de energia elétrica do consumidor. Na sequência, quando necessário, recorre-se também a medições específicas no sentido de fornecer subsídios para o dimensionamento e/ou ajustes dos equipamentos de controle e compensação.

2.2 – Estrutura Tarifária

Segundo o conceito moderno de tarifa de energia elétrica, ela visa tanto prover um retorno financeiro satisfatório para os agentes que realizam investimentos e operam o sistema, como para passar sinais econômicos para os consumidores, indicando-lhes onde e quando o fornecimento de energia elétrica é mais barato.

Na busca de metodologias para a definição do sistema tarifário, o Governo federal, através do decreto nº 86463 de 13/10/83, definiu a estrutura tarifária para a energia elétrica no



país com base nos custos marginais do setor. Este processo iniciou-se em 1979, com o patrocínio do Banco Mundial e a assistência técnica da Electricité de France – EDF.

Basicamente, as tarifas podem ser monômias ou binômias. No primeiro caso só se cobra pelo consumo efetivo de energia. Na tarifa binômia, acrescenta-se um componente que remunera a capacidade colocada a disposição dos consumidores e incorporam ainda preços diferenciados da energia dependendo da hora do dia e época do ano.

Além da tarifa propriamente dita, o preço final da energia elétrica pago pelo consumidor inclui ainda parcelas referentes a encargos e aos impostos. Os encargos referem-se às despesas de atendimento aos consumidores e independem do consumo. Os impostos dependem da política tributária vigente.

Os usuários de energia elétrica são então enquadrados nestas estruturas em função de suas características predominantes de consumo.

2.3 - Estrutura Tarifária Vigente no Brasil

O sistema tarifário de energia elétrica é um conjunto de normas e regulamentos que tem por finalidade estabelecer o preço da eletricidade para os diferentes tipos de consumidores. A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), criada em 26/12/1996 através de lei nº 9.427, além de suas atribuições específicas incorpora também as funções de órgão regulador em substituição ao extinto Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE).

2.3.1 - Definições

A legislação que regulamenta a tarificação de energia elétrica no Brasil é baseada nos conceitos e definições apresentados a seguir.

- **Demanda (kW):** média das potências instantâneas solicitadas pela unidade consumidora integralizadas em intervalos de 15 minutos. Classifica-se nas seguintes formas:
 1. Demanda registrada - DR (kW): é o maior valor da demanda efetivamente registrada em intervalos de 15 minutos durante o período de funcionamento.
 2. Demanda faturada - DF (kW): é o valor da demanda efetivamente utilizada para efeito de faturamento.
 3. Demanda contratada - DC (kW): é o valor da demanda que a concessionária se compromete, através de contrato de fornecimento, a manter disponível ao consumidor.



- **Consumo - CA (kWh):** é a quantidade de energia elétrica ativa efetivamente medida no período de faturamento.
- **Horário de ponta (p):** é o intervalo de três horas, definido segundo as características de carga, do sistema elétrico da concessionária, compreendido entre 17:00 e 22:00 horas de cada dia, exceto sábados e domingos.
- **Horário fora de ponta (f):** é o intervalo formado pelas horas complementares às três horas do período de ponta, bem como pelas 24 horas dos sábados e domingos.
- **Período Úmido (u):** é o período de cinco meses compreendido entre dezembro de um ano e abril do no seguinte.
- **Período Seco (s):** é o período de sete meses consecutivos complementar ao período úmido. Corresponde ao período de maio a novembro de um mesmo ano.

2.3.2 - Tensões de Fornecimento

O nível da tensão de alimentação de um consumidor é determinado em função de sua carga instalada. Na Tabela 2.1 apresenta-se esta correspondência em função da Demanda Contratada (DC).

Tabela 2.1 – Limites de tensão de fornecimento

CARGA INSTALADA	TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO
$DC \leq 50 \text{ kW}$	Tensão Secundária de Distribuição
$50 \text{ kW} < DC \leq 2500 \text{ kW}$	Tensão Primária de Distribuição
$DC > 2500 \text{ kW}$	Tensão de Transmissão

Estes limites podem ser alterados desde que homologados pelo órgão regulador.

2.3.3 - Classes de Consumidores

Para fins de faturamento os consumidores são classificados em dois grupos tarifários que são definidos em função da tensão de fornecimento.

No Grupo A estão incluídos os consumidores atendidos em tensão de fornecimento igual ou superior a 2300 V. Para esses consumidores são aplicadas as tarifas de demanda e de consumo de acordo com o contrato de fornecimento. Este grupo está ainda dividido em 4 subgrupos de acordo com a tensão específica de fornecimento. São eles:



A1 - 230 kV, A2 - 138 kV, A3 - 69 kV, A4 - 13,8 kV.

No Grupo B estão incluídos os consumidores atendidos em tensão de fornecimento inferior a 2300 V. Para esses consumidores é aplicada apenas a tarifa monômnia convencional.

Este grupo subdivide-se de acordo com a utilização da energia, da seguinte forma:

B1- residencial, B2 - rural, B3 - poder público, B4 - iluminação pública.

A demanda também é utilizada para a classificação dos usuários para efeito de tarifação.

2.3.4 - Modalidades Tarifárias

Os consumidores do Grupo A são faturados com tarifas convencional ou horo-sazonal, dependendo da tensão de fornecimento e da demanda, conforme Tabela 2.2 a seguir:

Tabela 2.2 - Opções tarifárias para o grupo A

CONSUMIDOR	TARIFA
Tensão de fornecimento maior ou igual a 69 kV (qualquer demanda)	Azul
Tensão de fornecimento inferior a 69 kV (demanda igual ou superior a 500 kW)	Azul ou verde
Tensão de fornecimento menor que 69 kV (demanda igual ou superior a 50 kW e inferior a 500 kW)	Azul, verde ou convencional

Cada uma destas modalidades possui características próprias apresentadas a seguir

2.3.4.1 – Tarifa Convencional

A modalidade tarifária convencional apresenta preços fixos tanto para a demanda quanto para o consumo, independentemente do mês e do horário de utilização da energia. O consumo de energia (CA) faturado será aquele verificado pela medição no período de funcionamento. O valor da demanda faturada (DF) será o que for maior entre os três seguintes:

- demanda contratada (DC), caso haja contrato de fornecimento de energia;
- demanda máxima registrada (DR) no mês;
- 85% do maior valor de demanda registrada (DR) nos últimos onze meses.

Para determinar o valor da fatura (VF) utiliza-se a expressão



$$VF = (CA \times TC + DF \times TD) \left(\frac{1}{1 - ICMS} \right) \quad (2.1)$$

2.3.4.2 - Tarifa Horo-sazonal Azul (THA)

A modalidade tarifária horo-sazonal azul apresenta uma estrutura baseada em quatro preços diferenciados para o consumo de energia (CA), de acordo com os horários do dia (ponta e fora de ponta) e com os períodos do ano (período seco e período úmido). Para a demanda contempla dois preços de acordo com o horário (ponta e fora de ponta).

O consumo a ser faturado será aquele efetivamente medido em um determinado período para cada segmento horo-sazonal. O valor da demanda faturada (DF) será, entre os dois seguintes, o que for maior:

- a maior potência demandada, verificada na medição em cada segmento horo-sazonal, integralizada a cada intervalo de 15 minutos durante o período de funcionamento. Isto corresponde à demanda registrada (DR);
- a demanda contratada (DC) em cada segmento horo-sazonal. Os casos de unidades consumidoras classificadas como rural ou sazonal são tratados como exceções. Nestes casos a DF será 10% (dez por cento) da maior demanda registrada, considerando-se os onze últimos faturamentos.

O valor da fatura (VF) é calculado de acordo com as seguintes equações:

- No período seco

$$VF = (CA_{fs} \times TC_{fs} + CA_{ps} \times TC_{ps} + DF_f \times TD_f + DF_p \times TD_p) \left(\frac{1}{1 - ICMS} \right) \quad (2.2)$$

- No período úmido

$$VF = (CA_{fu} \times TC_{fu} + CA_{pu} \times TC_{pu} + DF_f \times TD_f + DF_p \times TD_p) \left(\frac{1}{1 - ICMS} \right) \quad (2.3)$$

Nestas expressões:

CA - consumo de energia (kWh);

DF - demanda faturada (kW);

TC - tarifa de consumo (R\$ / kWh);

TD - tarifa de demanda (R\$ / kW);

f - índice que indica o horário fora de ponta;

p - índice que indica o horário de ponta;

s - índice que indica o período seco;

u - índice que indica o período úmido;

ICMS- índice do imposto sobre circulação de mercadorias e serviços.

2.3.4.3 - Tarifa Horo-sazonal Verde (THV)

A modalidade tarifária horo-sazonal verde apresenta a mesma estrutura da tarifa azul (THA) para a cobrança do consumo de energia elétrica. Para a demanda, entretanto, contempla apenas um preço, independente do segmento horo-sazonal.

O consumo a ser faturado será aquele efetivamente medido em um determinado período para cada segmento horo-sazonal.

O valor da demanda faturada (DF) será o maior verificado entre:

- a maior potência demandada, verificada por medição, integralizada a cada intervalo de 15 minutos durante o período de faturamento;
- a demanda contratada.

O valor da fatura (VF) é calculada de acordo com as seguintes equações:

- No período seco

$$VF = (CA_{fs} \times TC_{fs} + CA_{ps} \times TC_{ps} + DF \times TD) \left(\frac{1}{1 - ICMS} \right) \quad (2.4)$$

- No período úmido

$$VF = (CA_{fu} \times TC_{fu} + CA_{pu} \times TC_{pu} + DF \times TD) \left(\frac{1}{1 - ICMS} \right) \quad (2.5)$$

Nestas expressões as grandezas utilizadas têm as mesmas definições apresentadas anteriormente.

2.3.4.4 - Faturamento da Ultrapassagem de Demanda

Havendo ultrapassagem da demanda medida, relativamente à contratada, caberá a aplicação da tarifa de ultrapassagem à parcela que exceder o valor contratado.

A tarifa de ultrapassagem será aplicada quando excedidos os limites abaixo:

- 5% (cinco por cento) da demanda contratada para unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento igual ou superior a 69kV e, conseqüentemente, enquadrados na tarifa azul;



- 10% (dez por cento) da demanda contratada para unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69kV, enquadradas nas tarifas azul ou verde, com demanda contratada igual ou superior a 100kW;
- 20% (vinte por cento) da demanda contratada para unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69kV, enquadradas nas tarifas azul ou verde, com demanda contratada de 50 kW até 100 kW.

O faturamento da ultrapassagem da demanda será feito segundo a seguinte expressão:

$$FDU = (DM - DC) \times TU \quad (2.6)$$

sendo: FDU - valor em reais relativo ao faturamento de ultrapassagem (R\$);

DM - demanda medida (kW);

DC - demanda contratada (kW);

TU - tarifa de ultrapassagem (R\$/ kW);

A tarifa verde tem apenas uma componente FDU, já a tarifa azul, apresenta duas componentes FDU, uma para o horário de ponta e outra para o horário fora de ponta.

2.4 - Regulamentação do Fator de Potência

O fator de potência (FP) é um índice que reflete como a energia está sendo utilizada, ou seja, mostra a relação entre a energia realmente útil (ativa) e a energia total (aparente) fornecida pelo sistema elétrico.

2.4.1 - Aspectos Gerais da Legislação

- Tanto os consumidores como também as concessionárias devem manter o fator de potência de seus sistemas o mais próximo possível da unidade (FP=1).
- O fator de potência de referência estabelecido como limite para cobrança da energia reativa excedente por parte da concessionária é 0,92, independente da modalidade tarifária.
- A energia reativa capacitiva é medida no período de 0h a 6h, a indutiva das 6h à 24h.
- O cálculo do fator de potência pode ser feito por avaliação horária ou mensal.
- O excedente de reativo indutivo ou capacitivo que ocorre quando o fator de potência indutivo ou capacitivo é inferior ao fator de potência de referência, 0,92, é cobrado como tarifas de fornecimento de energia ativa. Surge, então, o conceito de energia ativa reprimida, ou seja, a cobrança pela circulação de excedente de reativo no sistema elétrico.

2.4.2 - Cálculo do Fator de Potência

Para tarificação do fator de potência utiliza-se a energia elétrica ativa faturada, kWh, e a energia elétrica reativa faturada, kVArh através da expressão $FP = \cos \left[\arctg \left(\frac{kVArh}{kWh} \right) \right]$ (2.7)

2.4.3 - Cálculo do Consumo da Energia Reativa Excedente e da Demanda de Potência Reativa Excedente

Define-se:

- UFDR- demanda de potência ativa reprimida (kW), corresponde ao excedente de demanda de potência reativa.
- UFER- montante de energia ativa reprimida (kWh), correspondente ao excedente de consumo de energia reativa.

As fórmulas para a avaliação horária e para a avaliação mensal são apresentadas a seguir:

1. Avaliação Horária

- Demanda:

$$UFDR = DMCR - DF \quad (2.8)$$

Nesta expressão,

$$DMCR = \text{Máx}_{t=1}^M \left(DA_t \times \frac{0,92}{f_t} \right) \quad (2.9)$$

- Consumo:

$$UFER = \sum_{t=1}^M \left[CA_t \times \left(\frac{0,92}{f_t} - 1 \right) \right] \quad (2.10)$$

Nesta expressão,

DMCR – maior valor de demanda ativa reprimida;

DF – demanda faturável no ciclo de faturamento;

DA_t – demanda ativa registrada, integralização horária;

f_t – fator de potência horário;

CA_t – consumo de energia ativa registrada de hora em hora.



O valor de “ f_i ” é determinado a cada hora em função dos montantes de kWh e de kVA_{rh} utilizando-se um registrador digital. Se f_i for menor que o valor de referência, 0,92, o registrador acumula o valor correspondente de UFER, calculando ainda o valor de DMCR. No final do ciclo de faturamento, o registrador fornece um total acumulado de UFER e o valor máximo de DMCR. Com base nesses valores, o sistema de faturamento calcula o valor de UFDR, desprezando valores negativos

1. Avaliação Mensal

- Demanda:

$$UFDR = DR \times \left(\frac{0,92}{f_m} \right) - DF \quad (2.11)$$

- Consumo:

$$UFER = CA \times \left(\frac{0,92}{f_m} - 1 \right) \quad (2.12)$$

Nestas expressões,

DR – demanda de potência máxima ativa registrada no ciclo de faturamento;

DF – demanda faturável no ciclo de faturamento;

f_m – fator de potência mensal;

CA – consumo de energia ativa no ciclo de faturamento.

Com base nos dados de kWh e de kVA_{rh}, obtidos pelo equipamento de medição, o sistema de faturamento determina o valor do f_m . Para valores de f_m inferiores a 0,92 o sistema de faturamento calcula os valores de UFDR e UFER. Valores negativos de UFDR serão desconsiderados.

2.4.4 - Faturamento do Consumo de Energia Reativa Excedente e da Demanda de Potência Reativa Excedente

Para fins de faturamento, define-se:

- FER – faturamento do excedente de consumo de energia reativa (R\$);
- FDR – faturamento do excedente de demanda de potência reativa (R\$).

Desta forma tem-se:



$$FER = UFER \times TC \times \left(\frac{1}{1 - ICMS} \right) \quad (2.13)$$

$$FDR = UFDR \times TD \times \left(\frac{1}{1 - ICMS} \right) \quad (2.14)$$

O faturamento dos excedentes de energia e de demanda reativos excedentes tem as seguintes componentes para os grupos e sistemas tarifários existentes:

- **Grupo B:**

Uma componente FER correspondente ao consumo de energia reativa excedente.

- **Grupo A**

1. Tarifa Binômia Convencional

Uma componente FDR correspondente à demanda de potência reativa excedente.

Uma componente FER correspondente ao consumo de energia reativa excedente.

2. Tarifa Horó-sazonal Azul

Duas componentes, FDR_p e FDR_{fp} , correspondentes à demanda de potência reativa excedente nos segmentos de ponta e fora de ponta, respectivamente.

Duas componentes, FER_p e FER_{fp} , correspondente ao consumo de energia reativa excedente nos segmentos de ponta e fora de ponta, respectivamente.

3. Tarifa Horó-sazonal Verde

Uma componente FDR correspondente à demanda de potência reativa excedente.

Duas componentes, FER_p e FER_{fp} , correspondente ao consumo de energia reativa excedente nos segmentos de ponta e fora de ponta, respectivamente.

2.5 - Fator de Carga e Custo Médio de Energia

O custo médio de energia para um consumidor, expresso em (R\$/kWh), deve levar em conta como o consumo é distribuído ao longo do período de utilização. Para retratar esta distribuição na conta de energia utiliza-se o conceito de fator de carga (FC).

O fator de carga é um índice que reflete a eficiência da utilização de energia por parte de um consumidor. Valores elevados do FC indicam a utilização adequada da energia elétrica enquanto que baixos valores indicam uma má utilização. Deste modo, quanto menor for o FC maior deverá ser o custo médio (CM) da energia para o consumidor.

Quantitativamente, o fator de carga de uma instalação é determinado pela relação entre a demanda de potência média e a demanda máxima, medidas no período de faturamento. Ou, de

outra forma, é a relação entre o consumo de energia ativa medida e o consumo que se teria caso a demanda medida permanecesse constante por todo o período de faturamento. Estas relações podem ser expressas na forma:

$$FC = \frac{Dem.Média(kW)}{Dem.Máxima(kW)} = \frac{CA(kWh)}{[DR(kW) \times N^{\circ} horas]} \quad (2.15)$$

O número médio de horas mensal adotado pela legislação é 730. Se a tarificação for horo-sazonal deve-se levar em conta os períodos de ponta e fora de ponta. Na tarifa azul calculam-se os fatores de carga para os horários de ponta e fora de ponta considerando-se os consumos e as demandas registradas para cada período. O número de horas mensal adotado para o período fora de ponta é 664, enquanto que para o período de ponta é 66. No caso da tarifa verde, considera-se o mesmo valor da demanda tanto para o período de ponta como para fora da ponta. A determinação do FC depende, portanto, do sistema de tarificação utilizado.

2.6 – Procedimentos para Otimização dos Gastos com Energia Elétrica.

Considerando-se as diferentes modalidades de tarificação da energia elétrica e suas peculiaridades é imprescindível que o consumidor se enquadre no sistema mais adequado a sua forma de consumo de eletricidade objetivando minimizar seus custos. Particularmente, para um consumidor industrial a escolha de um sistema adequado pode ter influência direta no custo do seu produto e conseqüentemente na competitividade no mercado globalizado.

2.6.1 – Modalidade Tarifária e Contrato de Demanda

A maioria das pequenas e médias empresas industriais ou comerciais brasileiras se encaixam no grupo A, onde são cobradas pelo consumo, pela demanda. Estes consumidores podem ser enquadrados na tarificação convencional ou na tarificação horo-sazonal azul ou verde. Os custos por kWh são mais baixos nas tarifas horo-sazonais, mas as multas por ultrapassagem são mais pesadas. Assim, para a escolha do melhor enquadramento tarifário, quando facultado ao cliente, é necessária uma avaliação específica.

A escolha entre uma ou outra modalidade tarifária deve ser feita levando em consideração as características do consumidor em questão. As diferentes tarifas podem oferecer vantagens ou desvantagens de acordo com a curva de carga diária deste consumidor. Por exemplo, um

consumidor que apresente um consumo reduzido no horário de ponta pode levar alguma vantagem financeira ao mudar da tarifa convencional para a tarifa verde, já que o preço da unidade de consumo nesta última é bem inferior ao da primeira. Da mesma forma, um consumidor com valores reduzidos de consumo e demanda no horário de ponta, após uma análise mais detalhada, provavelmente sairá lucrando ao optar pela tarifa azul.

Qualquer que seja o seu enquadramento tarifário dentro do Grupo A, a sua demanda registrada, para fins de faturamento será, a cada mês, a maior demanda de cada um dos intervalos de integração de 15 minutos ao longo do mês. Portanto, a demanda, será medida quase 3000 vezes ao longo de um mês, e o valor mais alto registrado é tomado como base para efeito de faturamento, ainda que tenha sido verificado apenas uma única vez. Se o consumidor estiver enquadrado na tarifa horo-sazonal azul, terá uma demanda registrada para o horário fora de ponta, e outra demanda registrada para o horário de ponta. Estes valores, quando elevados, podem ocasionar pesados acréscimos à sua fatura de energia.

Desta forma a partir do conhecimento do processo produtivo e da curva de carga do consumidor deve ser estabelecido valores adequados para os contratos de demanda no sentido de, por um lado evitar multas por ultrapassagens (FDU) e por outro manter a demanda faturada em um valor tão próximo quanto possível do valor contratado.

Em instalações de grande porte é comum a instalação de controladores de demanda devidamente ajustados para atuar fazendo rejeição de carga previamente selecionada, no sentido de garantir a manutenção da demanda dentro dos limites contratuais.

2.6.2 – Energia Reativa Excedente

A legislação sobre faturamento de energia reativa excedente impõe também pesadas sobretaxas. O fator de potência estabelecido como limite para cobrança de energia reativa excedente (FER e FDR) por parte da concessionária é 0,92, independente da modalidade tarifária para consumidores do Grupo A.

Para efeito de faturamento de energia elétrica, o fator de potência pode ser registrado de hora em hora ou de mês em mês. Assim, como no caso da demanda, os mecanismos de tarifação levarão em conta o pior valor de fator de potência registrado ao longo do mês, dentre os mais de 700 valores registrados, por exemplo, nos registros de hora em hora.

Fica então evidente a necessidade de um controle rigoroso deste parâmetro no sentido de evitar as sobretaxas. De um modo geral, os sistemas elétricos que apresentam baixo fator de potência possuem excesso de reativos de natureza indutiva, oriundo da operação de motores



elétricos. Desta forma, a compensação reativa se faz através da instalação de bancos de capacitores. A partir da análise das características de consumo de reativos e/ou através medições específicas é possível estabelecer o melhor arranjo de compensação de uma instalação podendo esta ser constituída por unidades capacitivas fixas, bancos automáticos ou ainda por uma composição de ambas devidamente ponderadas.

2.6.3 - Recuperação de ICMS

A lei complementar L.C. 87/1996 estabelece que parte do imposto sobre circulação de mercadoria (ICMS) recolhido nas contas de energia elétrica pode ser recuperado em forma de crédito para o consumidor. Este procedimento se aplica apenas sobre a parcela do consumo de energia associada a uma atividade produtiva. Neste sentido, praticamente todos os consumidores industriais podem se beneficiar desta prerrogativa.

A porcentagem de ICMS cobrado nas contas de energia elétrica fica geralmente entre 12% e 18%, trata-se de um valor importante, que seguramente merece atenção. Além disso, geralmente, a atividade produtiva responde pela maior parte da conta de energia elétrica de um consumidor industrial típico, sendo o restante correspondente a escritórios, ambulatório, portaria, refeitório, etc. Tipicamente, 90% do ICMS cobrado para consumidores industriais é passível de ser utilizado como crédito.

O percentual de recuperação previsto na lei é definido pela equação seguinte:

$$P_r(\%) = [1 - (C_{np} / C_m)] 100 \quad (2.16)$$

sendo: C_{np} – Consumo mensal de energia associado a cargas não produtivas,

C_m – Consumo mensal total.

Recentes alterações na legislação referente ao ICMS, impostas pela Lei Complementar L.C 102/2000 de 11/07/2000, alteram parte da L.C. 87/1996 e torna obrigatório a elaboração de laudo técnico realizado por profissional independente, para certificar a parcela da carga total instalada utilizada no processo produtivo.

Naturalmente o cálculo do percentual de recuperação deve ser revisto periodicamente ou sempre que houver alguma mudança de atividades produtivas, tais como, instalação de novos equipamentos, modernização da linha de produção, variações de turnos de trabalho, ajustes da produção a novas demandas no mercado, etc.



2.7 – Conclusão

Observou-se que a análise das contas de energia é o primeiro passo a ser dado visando a eficiência energética. Elas permitem que seja estudado o perfil de consumo de energia elétrica de cada instalação, e a partir dessa análise estabelecer planos específicos de conservação de energia elétrica, que podem trazer resultados efetivos na redução do consumo de eletricidade.

Pode-se afirmar que é sempre possível elaborar um plano de redução de custo, e, qualquer que seja a solução adotada pelo consumidor para obter o efeito desejado, é louvável. O que ele não pode é, salvo estudo econômico de custo/benefício, deixar ultrapassar os valores contratuais das demandas.

De posse das informações técnicas que possibilitem uma análise do potencial de redução do consumo de energia elétrica de uma instalação. A identificação deste potencial não é, no entanto, elemento decisório para a aprovação das modificações a serem introduzidas na instalação ou mesmo em um projeto.

Qualquer alteração que demande investimentos adicionais deve ser avaliada quanto à sua atratividade econômica. Portanto, no próximo capítulo será analisado se um investimento, justificável do ponto de vista técnico, também o será sob enfoque econômico.



REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

3.1 - Introdução

Uma vez definido o sistema tarifário mais adequado para um determinado consumidor, estabelecidos os contratos de demanda para atender as condições de carga, as medidas adicionais que podem ser implementadas visando a minimização de gastos com energia elétricas estão relacionadas com as ações de conservação da energia.

Estas providências, na busca da eficiência energética podem ter reflexos positivos para o fornecedor, para o consumidor de energia elétrica, enfim, para toda sociedade. Do ponto de vista social, o interesse pela conservação de energia, está relacionado com a melhoria das condições ambientais locais e regionais, redução das mudanças de clima associadas ao efeito estufa, promoção do desenvolvimento sustentado e estabilidade financeira.

Os dados disponíveis sobre o consumo de energia elétrica no Brasil para o ano de 1999 indicam que o setor industrial é o maior consumidor de toda a energia elétrica produzida, utilizando 43%. Dentro deste setor, os motores são responsáveis por, aproximadamente, 49% do consumo. Isto significa que a participação deles, apenas neste setor, no consumo global do país, pode ser estimada em $0,43 \times 0,49 = 0,21$, ou seja, 21%.

Considerando os equipamentos presentes nos demais setores, pode-se afirmar que no Brasil os motores são responsáveis por, no mínimo, 35% do consumo global de energia do país.

O segundo uso final de eletricidade mais importante, embora estatísticas precisas não estejam disponíveis, é o consumo de energia elétrica para iluminação. Estima-se que entre 15% a 20% da eletricidade consumida no Brasil é destinada à iluminação.

O estudo de “retrofitting” compreende a análise de alternativas de substituição ou reforma de componentes, instalação de acionamentos automatizados e redução do horário de funcionamento. O objetivo é otimizar o rendimento do sistema sob o ponto de vista do consumo de energia elétrica. Obviamente estes estudos alternativos estão intimamente ligados a aos custos de implementação do processo e a decisão sobre a execução ou não do “retrofitting” da instalação é quase sempre determinada pela viabilidade econômica do estudo realizado.

3.2 – Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação

Em função da busca por ações de eficiência energética, tem sido realizada a substituição (“retrofitting”) das lâmpadas elétricas nas instalações em geral. Nos locais onde a iluminação ambiente é do tipo incandescente a prática mais comum é a substituição das lâmpadas incandescente pelas fluorescentes compactas motivado pelas facilidades quanto ao uso dos mesmos adaptadores. Quando existe a predominância de lâmpadas fluorescentes convencionais acionadas por reatores eletromagnéticos a tendência é a substituição destes reatores por reatores eletrônicos baseados em tecnologias ditas mais eficientes, pelo menos sob o ponto de vista energético.

Apresenta-se a seguir, a título de exemplo, o cálculo da economia obtida da substituição de reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos, baseado nas metodologias atualmente propostas para estudo desta natureza ([07],[35]). Para isto adotou-se como base de estudo o sistema de iluminação implantado em uma sala de estudos da biblioteca da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-Unesp que funciona 24h por dia com toda iluminação ligada.

O cálculo luminotécnico efetuado, de acordo com a NBR 5413, prescreve:

$$\phi = \frac{E \times S}{\mu \times d} \quad (3.1)$$

Sendo:

ϕ = fluxo luminoso

E = nível de iluminamento

S = área (m²)

μ = coeficiente de utilização

d = fator de depreciação

Nesta sala estão instaladas, 70 lâmpadas fluorescente TLT 110W, com um fluxo luminoso médio de 9500 lm cada, portanto;

$$70 \times 9500 = 665000 \text{ lumens}$$

Alguns fabricantes informam em seus catálogos que fazendo uso de seu reator eletrônico, determinadas lâmpadas fluorescente tem seu valor de fluxo luminoso aumentado. Aqui não será considerado esse acréscimo, isto diminuiria o número de reatores eletrônicos a ser instalados, como as luminárias já estão fixadas e não temos intenção de mudar o “layout”, será mantido o fluxo luminoso.

O nível de iluminamento médio nas mesas de estudos é de 1100 lux, valor aceito pela NBR 5413.



Conforme medidas efetuadas num dos circuitos do QFG-2 (valores mostrados na Tabela 3.1), um reator eletromagnético de 1x 110W em 127V tem uma potência de entrada de 150,7 W, para o caso do reator eletrônico temos uma potência de entrada de 88,1 W, valor retirado de ensaio realizado no laboratório como mostra a Tabela 3.2,

Tabela 3.1 – Circuito com Reator Eletromagnético

RESULTADOS OBTIDOS DA SALA 24h					
	Corrente	Tensão		Potência Ativa	150,7 W
RMS	1,22 A	127,0 V		Potência Aparente	154,8 VA
Pico	A	V		Potência Reativa	35,4 Var
THD	13,1 %			Fator de Potência (PF)	0,97

Tabela 3.2 – Ensaio do Reator Eletrônico

RESULTADOS OBTIDOS EM LABORATÓRIO					
	Corrente	Tensão		Potência Ativa	88,1 W
RMS	1,31 A	127,0 V		Potência Aparente	166,3 VA
Pico	A	V		Potência Realiva	141,1 Var
THD	139,0 %			Fator de Potência (PF)	0,53

Portanto:

$150,7\text{ W} \times 70 = 10549\text{ W}$

$88,1\text{ W} \times 70 = 6167\text{ W}$

Em resumo:

Tabela 3.3 – Levantamento da Situação Atual

Item	Qtd luminárias	Qtd lâmpadas	Potência (kW)	Consumo (kWh/ano)
1	35	70	10,549	92.409,24

De acordo com a situação encontrada, foi elaborada uma proposta de retrofiting da situação atual. Chegou-se a conclusão que a forma mais econômica seria, apenas, a substituição dos reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos, na tabela a seguir é apresentado a nova potência instalada e seu consumo:

Tabela 3.4 – Situação Proposta

Item	Qtd luminárias	Qtd lâmpadas	Potência proposta(kW)	Consumo proposto (kWh/ano)
1	35	70	6,167	54.022,92

A diferença de potência é de 4,382 kW, tem-se, então, que a economia de consumo proporcionada por reatores eletrônicos é da ordem de:

$$4,382 \text{ kW} \times 24\text{h} \times 365 \text{ dias} = 38.386,32 \text{ kWh/ano}$$

A tarifa aplicada na biblioteca é a convencional cujo valor é 0,19305 R\$/kWh, portanto:

$$38.386,32 \text{ kWh/ano} \times 0,19305 \text{ R\$/kWh} = 7.410,48 \text{ R\$/ano (US\$ 2850,0)}$$

O que vem a comprovar que de fato os reatores eletrônicos são economizadores de energia, devido ao seu funcionamento em alta frequência.

A seguir é apresentado um resumo da economia de energia elétrica proporcionada por um reator eletrônico.

Tabela 3.5 - Resumo da economia proporcionada por um reator eletrônico.

Discriminação	1 x 110 W
Reator eletromagnético	150,7 W
Reator eletrônico	88,1 W
Economia	62,6 W
Economia AC (*)	17,89 W
Economia total	80,49 W
Ganho financeiro anual (**) R\$	136,12

(*) a cada 3,5 W economizados em iluminação, reduz-se 1 W no consumo [09]

(**) Economia total x 24h x 365 dias x tarifa de R\$0,19305/kWh.

Até aqui foi apresentada uma análise simplificada, ou seja, no curto prazo, a seguir será analisado o projeto sob o ponto de vista do longo prazo.

A fim de combinar os custos de compra e instalação dos reatores com o consumo de energia que ocorre durante a vida de um reator, é necessário exprimi-los em valores econômicos comparáveis, isto é, em valores referidos à mesma época. É conveniente utilizar a data de compra da instalação como referência, chamando-a de 'atual'. Os custos 'futuros' das perdas de energia são então convertidos a seus equivalentes 'valores atuais'.

A equação básica do dimensionamento dos reatores é a seguinte:

$C_t = C_c + C_i + C_e$ (3.2)

Sendo:

C_t = custo total durante a vida do reator;

C_c = custo inicial de compra do reator;

C_i = custo inicial de instalação do reator;

C_e = custo do consumo de energia ao longo do tempo.

A fim de simplificar o trabalho, é feito algumas considerações:

- O custo inicial de instalação (mão-de-obra) dos reatores é constante, independente de ser eletrônico ou convencional;
- Na componente do custo total devido à energia, considera-se apenas a energia ativa, desprezando-se o custo devido à demanda;
- Admite-se uma taxa anual de juros média de 10%.

Para o caso da sala 24h, foi estimado que este circuito permaneça em operação durante 8.760 horas por ano. Deseja-se que a análise seja feita para um período de 5 anos.

O valor da tarifa de energia elétrica considerada é de 0,19305 R\$/kWh.

Foi consultado um fornecedor de reatores para obter os seus preços, como mostra a tabela a seguir. Estes valores referem-se a um reator para 1 lâmpada fluorescente Hight Output (H.O) – 110 W.

Tabela 3.6 – Levantamento de Preços

Item	Discriminação dos Equipamentos	Preço Unitário (R\$)
1	Reator eletromagnético	23,00
2	Reator eletrônico	27,70

O custo inicial da implantação de um sistema de iluminação fluorescente com reatores eletromagnéticos foi estimado em R\$ 1.610,00 (70 reatores x R\$ 23,00), ver Tabela 3.6.

O custo anual com energia elétrica será:

$C_e = 0,1507 \text{ kW} \times 70 \text{ reatores} \times 24\text{h} \times 365 \text{ dias} \times 0,19305 \text{ R\$/kWh} = \text{R\$}17.839,60$

O custo inicial da implantação de um sistema de iluminação fluorescente com reatores eletrônicos foi estimado em R\$ 1.939,00 (70 reatores x R\$ 27,70), ver Tabela 3.6.



O custo anual com energia elétrica será:

$$C_e = 0,0881 \text{ kW} \times 70 \text{ reatores} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ dias} \times 0,19305 \text{ R\$/kWh} = \text{R\$ } 10.429,12$$

O custo total inclui não apenas o custo inicial de aquisição e instalação dos reatores, mas também os custos com a energia gasta ao longo do tempo. O problema neste caso é que estes dois custos ocorrem em épocas distintas: enquanto que o custo de aquisição e instalação acontece no início da obra, os custos com energia consumida se distribuem ao longo da vida da instalação.

Assim, somar diretamente estas duas grandezas no tempo não é correto.

Para tanto, deve-se recorrer, na matemática financeira, ao conceito de valor presente (VP), que mostra como os pagamentos futuros da energia efetuados durante a vida da instalação podem ser expressos em valores equivalentes no início do projeto. Ao se converter os valores futuros em valores presentes, é possível, então, somá-los aos custos iniciais de instalação.

A determinação do valor presente (VP) é dada por:

$$VP = C \times Q \quad (3.3)$$

$$Q = r \frac{(1 - r^N)}{(1 - r)} \quad (3.4)$$

$$r = \frac{1}{1 + \frac{i}{100}} \quad (3.5)$$

sendo: C = quantidade a ser paga anualmente pelo consumo de energia (R\$);

N = número de anos de funcionamento do circuito considerado na análise;

i = taxa de juros ao ano (%).

No caso da sala 24h, tem-se

Reator eletromagnético

- Custo inicial de aquisição e instalação = R\$ 1.610,00;
- Custo anual do consumo de energia = $C = \text{R\$ } 17.839,60$;
- Período de análise considerado = $N = 5$ anos
- Taxa de juros ao ano = $i = 10\%$

Cálculo do valor presente do custo do consumo de energia:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{i}{100}} = r = \frac{1}{1 + \frac{10}{100}} = 0,90909$$

$$Q = r \frac{(1 - r^N)}{(1 - r)} = 0,90909 \frac{(1 - 0,90909^5)}{(1 - 0,90909)} = 3,79079$$

$$VP = C \times Q = 17.839,60 \times 3,79079 = \text{R\$ } 67.626,18$$

$$\text{Custo total do reator eletromagnético} = \text{R\$ } 1.610,00 + \text{R\$ } 67.626,18 = \text{R\$ } 69.236,18$$

Reator eletrônico

- Custo inicial de aquisição e instalação = R\$1.939,00;
- Custo anual do consumo de energia = C = R\$10.429,12;
- Período de análise considerado = N = 5 anos
- Taxa de juros ao ano = i = 10 %

Cálculo do valor presente do custo do consumo de energia:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{i}{100}} = r = \frac{1}{1 + \frac{10}{100}} = 0,90909$$

$$Q = r \frac{(1 - r^N)}{(1 - r)} = 0,90909 \frac{(1 - 0,90909^5)}{(1 - 0,90909)} = 3,79079$$

$$VP = C \times Q = 10.429,12 \times 3,79079 = \text{R\$ } 39.534,62$$

$$\text{Custo total do reator eletrônico} = \text{R\$ } 1.939,00 + \text{R\$ } 39.534,62 = \text{R\$ } 41.473,62$$

Em resumo, tem-se:

Tabela 3.7 – Comparação entre reatores

Reatores	Custo inicial (R\$)	Custo do Consumo (valor presente R\$)	Custo total (R\$)	%
Eletromagnético	1.610,00	67.626,18	69.236,18	100
Eletrônico	1.939,00	39.534,62	41.473,62	59,9

Como pode-se verificar, os reatores eletrônicos são mais vantajosos de serem utilizados na instalação, caso o assunto seja analisado sob o ponto de vista de longo prazo, apesar do custo inicial do reator eletrônico ser maior que o do reator eletromagnético.

3.2.1 - Período de Retorno do Investimento

O tempo de retorno do investimento consiste na determinação do ponto onde a economia obtida com a redução do consumo de energia se iguala ao investimento feito para a modificação do sistema, incluindo a taxa de juros aplicada ao investimento feito.

O período de retorno em que os dois investimentos se igualam, para o caso de uma instalação nova, pode ser determinado como segue:

- Diferença entre os custos iniciais dos reatores eletromagnético e eletrônico = R\$ 1.939,00 - R\$ 1.610,00 = R\$ 329,00
- Diferença entre os custos de consumo de energia dos dois reatores (VP) = R\$ 67.626,18 - R\$ 39.534,62 = R\$ 28.091,56 em 5 anos $\Rightarrow$ 5.618,31 R\$/ano (2160,0 US\$/ano).
- Período de retorno do investimento = R\$ 329,00 / 5.618,31 = 0,059 anos = 0,70 meses = 21 dias.

Este resultado significa que o desembolso inicial extra que teve que ser realizado para comprar os reatores eletrônicos retornará em um período de 21 dias (inferior ao período considerado de 5 anos). Pode-se concluir que a instalação dos reatores eletrônicos é um ótimo investimento.

Mas, esta análise é válida para o caso de implantação de um projeto, como na sala 24h já existe o sistema de iluminação com reatores eletromagnéticos, então a análise fica da seguinte forma:

- Diferença entre os custos iniciais dos reatores eletromagnético e eletrônico = R\$ 1.939,00 - R\$ 0,00 = R\$ 1.939,00
- Diferença entre os custos de consumo de energia dos dois reatores (VP) = R\$ 67.626,18 - R\$ 39.534,62 = R\$ 28.091,56 em 5 anos $\Rightarrow$ 5.618,31 por ano.
- Período de retorno do investimento = R\$ 1.939,00 / 5.618,31 = 0,35 anos = 4,2 meses.

Ainda assim, o projeto apresenta resultados vantajosos do ponto de vista financeiro e o tempo de retorno é considerado atrativo.

O fabricante do reator eletrônico ensaiado concede garantia de 2 anos e afirma que a vida útil pode ser maior que 5 anos, se alguns cuidados forem tomados:

- Como qualquer circuito eletrônico, o reator não deve ser colocado em lugares:
 - Muito quente (temperatura ambiente do reator máxima 45°C).
 - Com transientes de tensão elevada na rede elétrica.
 - Umidade excessiva.
- Não deve ser usado com lâmpadas fora de especificação (NBR 5115)
- Não deve ser usado com lâmpadas em fim de vida útil (escurecimento excessivo das pontas)
- Não deve ser tirado ou colocado lâmpadas com o reator energizado.

O caso apresentado refere-se a um situação muito particular onde o sistema de iluminação é utilizado 24h por dia e portanto existe um custo considerável de energia associado ao investimento. Em instalações convencionais é importante considerar também o tempo de uso da instalação o que pode em certas situações inviabilizar o investimento no “retrofitting” considerando-se o período de retorno desejado (“payback”).

A título de exemplo, é feita uma análise da substituição de uma lâmpada incandescente por uma compacta de potências equivalentes para um mesmo fluxo luminoso. Os custos apurados no mercado atual para as lâmpadas fluorescente compacta e incandescente foram de R\$ 16,95 e R\$1,02 respectivamente. Portanto, substituindo-se uma lâmpada incandescente 100W por uma lâmpada fluorescente compacta com reator eletrônico 20W, o período de retorno do investimento depende das horas em que a lâmpada fica ligada ao dia. Considerando-se a tarifa de eletricidade para um consumidor residencial de R\$ 0,19305 por kWh, e ainda que a durabilidade de uma lâmpada compacta é teoricamente muito superior (em torno de 5000 horas) ao da lâmpada incandescente (em torno de 1000h), a economia anual é dada pela expressão (3.6).

$$E_{\text{anual}} = C_{\text{ce}} + C_{\text{ic}} \quad (3.6)$$

Sendo: E_{anual} – Economia total ao longo de N anos (R\$)

C_{ce} – custo da energia economizada em N anos (R\$)

C_{ic} - investimento evitado na troca da lâmpada incandescente em N anos.

N = número de horas com lâmpadas ligadas por dia

Assim, os valores resultantes para a economia no consumo de energia e para investimento evitado na substituição das lâmpadas incandescentes são dados pelas equações (3.7) e (3.8), respectivamente.

$$C_{\text{ce}} = (100 - 20) \cdot N \cdot 365 \cdot 0,19305 \text{ (R\$)} \quad (3.7)$$



$$C_{ic} = \frac{N.365}{1000} \cdot 1,02 \text{ (R\$)} \quad (3.8)$$

A Figura 3.1 mostra o período de retorno do investimento em função das horas que as lâmpadas ficam ligadas ao dia. Observa-se que quando a lâmpada fica ligada menos que 30 min ao dia, a substituição não é eficaz, pois o período de retorno é mais longo que a vida da lâmpada fluorescente compacta. Por outro lado o valor máximo do período de retorno de investimento aceitável é em torno de 3 anos; porém, os consumidores que aderem aos programas de conservação de energia, esperam um retorno do investimento num tempo menor que um ano [24]. Este tempo de retorno somente será viável se a lâmpada for utilizada pelo menos 2,5 horas ao dia.

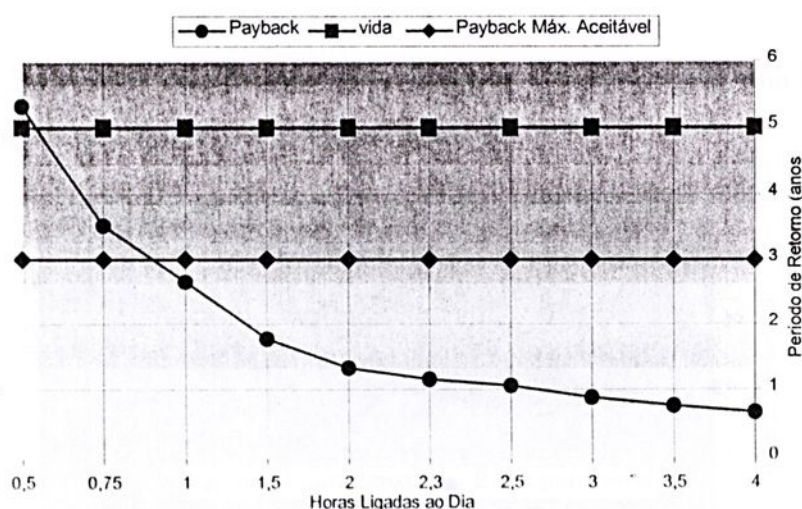


Figura 3.1 – Período de retorno do investimento

Os resultados obtidos fornecem um indicativo de que, considerando os custos envolvidos, sem um incentivo fiscal ou desconto proporcionado pelas concessionárias de energia em programas de GLD (Gerenciamento pelo Lado da Demanda), o uso de lâmpadas fluorescentes compactas em substituição às incandescentes não se apresenta como uma alternativa muito atraente.

Um outro aspecto importante que pode influenciar os estudos de viabilidade econômica diz respeito a uma visão mais crítica com relação à eficiência das lâmpadas fluorescentes compactas. O desempenho energético de uma lâmpada fluorescente compacta depende fundamentalmente de três fatores: tempo de aquecimento, temperatura externa e posição da base de fixação.

As lâmpadas fluorescentes compactas normalmente levam de 1 a 2 minutos para atingirem a temperatura normal de trabalho e somente nesta condição é que passam a fornecer o

seu fluxo luminoso máximo. Em alguns modelos o tempo de aquecimento ultrapassa 3 minutos. Apesar do incômodo causado pela iluminação precário apresentado durante o aquecimento, trata-se, no entanto, de um fenômeno com duração relativamente pequena podendo ser bem administrado pelos usuários.

Em regime permanente de operação, a eficiência depende da forma de propagação do calor gerado junto aos eletrodos da base e portanto da sua posição de fixação no ambiente. Quando a lâmpada é fixada com sua base voltada para cima, a parte superior fica mais aquecida que a parte inferior. Neste caso, o calor produzido pelos eletrodos não pode ser propagado ao longo do tubo pelo processo natural de transmissão de calor. A influência deste fenômeno pode ser muito crítica quando a lâmpada opera em ambientes com temperatura externa menor do que 20°C. Para temperaturas externas muito baixas, em torno de -10°C, a eficiência da lâmpada pode cair para até 10%.

A Figura 3.2 ilustra a variação do fluxo luminoso produzido por uma lâmpada compacta em função da temperatura ambiente e posição de fixação.

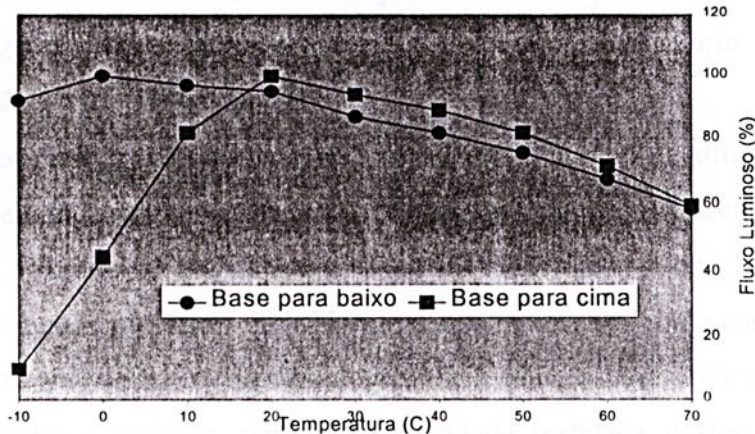


Figura 3.2 – Eficiência das lâmpadas fluorescente compactas em função da temperatura externa

Além destas considerações apresentadas sobre a eficiência das lâmpadas fluorescentes compactas é ainda indispensável considerar que muitas vezes o fluxo luminoso real é menor que aquele preconizado pelos fabricantes. Por exemplo, uma lâmpada fluorescente compacta 20W que deve fornecer um fluxo luminoso teoricamente equivalente ao de uma lâmpada incandescente 100W, quando fixada com a base para cima, a uma temperatura externa de 0°C, fornece uma iluminação igual a uma lâmpada de 60W. A Figura 3.3, ilustra alguns resultados experimentais realizados na referência [24].

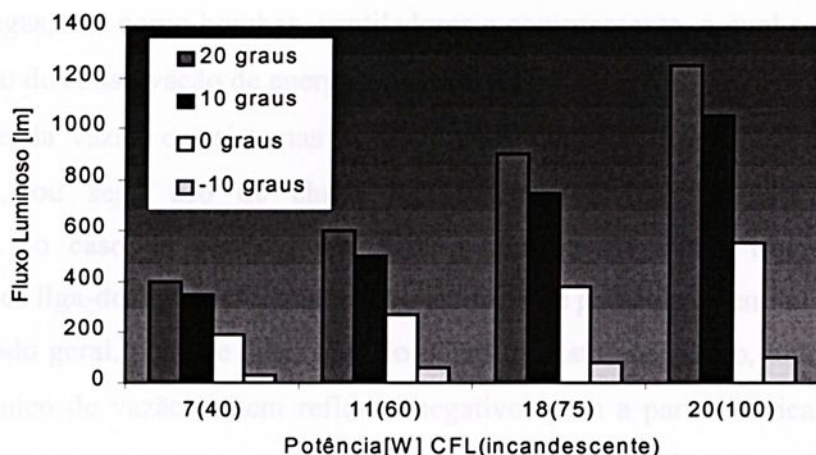


Figura 3.3 – Fluxo Luminoso com a base da lâmpada para cima em baixas temperaturas

3.3 – Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento

Dentre os fatores que afetam o desempenho dos motores elétricos, sob o ponto de vista da eficiência energética estão: dimensionamento incorreto, desequilíbrio de fases, variação da tensão em relação à tensão nominal [33].

O sobredimensionamento, normalmente, está ligado a utilização de margens de segurança, sobretudo, quando as características da carga são desconhecidas. Este procedimento, promove uma diminuição significativa do rendimento do motor, sendo que, o melhor rendimento, em regime contínuo, é obtido quando o motor é operado com 75% a 100% da sua carga nominal. O sobredimensionamento, também, contribui para a queda do fator de potência do motor, e, nestas condições, parte da capacidade instalada destina-se ao suprimento da potência reativa.

Do ponto de vista do consumidor, as ações direcionadas para a recuperação deste potencial energético, visam, em geral, a diminuição das perdas, melhoria da regulação de tensão, e ainda, disponibiliza as instalações elétricas para inserção de novas cargas.

Na ótica das concessionárias, a legislação prevê desde 1994, a aplicação de severas penalizações financeiras aos consumidores que operam com cargas reativas fora das especificações estabelecidas na portaria 1569/93 do extinto DNAEE. Esta ação visa, portanto, o melhor aproveitamento das instalações disponíveis para atendimento ao consumidor, sobretudo, a conservação da energia. O total economizado com esta medida até 1999 foi estimado em cerca de 2258 GWh, valor próximo a toda energia elétrica consumida pelo setor público no ano anterior [3].

Entre as várias aplicações envolvendo uso de motores elétrico destaca-se o acionamento de cargas centrífugas, tais como bombas, ventiladores e compressores, o qual será tomado como exemplo no estudo de conservação de energia subsequente.

O controle da vazão em sistemas de bombeamento é normalmente realizado por três métodos básicos, ou seja, uso de chave liga-desliga, válvula “by-pass” e válvula de estrangulamento. No caso de ventiladores, para o controle de vazão tradicionalmente são utilizados as chaves liga-desliga, os “dampers” ou controle de palhetas de entrada.

De um modo geral, pode-se dizer que, do ponto de vista energético, todos estes métodos de controle mecânico de vazão trazem reflexos negativos para a parte elétrica do sistema. No método liga-desliga as sucessivas partidas dos motores provocam altas correntes intermitentes contribuindo para o aumento das perdas. Nos demais métodos, parte da energia elétrica consumida não é efetivamente utilizada no desenvolvimento do processo, seja pela atuação do controle via “by-pass” ou devido a perda de carga provocada pelas válvulas de estrangulamento, damper ou palhetas de entrada.

A busca de formas para reduzir o desperdício de energia inerente às válvulas reguladoras de pressão tem motivado a utilização do controle de vazão através de acionamento de motores com velocidade variável que, além de proporcionar um considerável refinamento nos ajustes da vazão, ainda favorece uma considerável economia de energia elétrica, como será analisado no exemplo abaixo.

3.3.1 - Uso de Inversores de Frequência

Inversores de frequência são equipamentos da eletrônica de potência que permitem o controle de velocidade e, conseqüentemente, de torque em motores assíncronos trifásicos tipo gaiola de esquilo. Estes dispositivos encontram-se disponíveis para as potências comerciais dos motores elétricos existentes no mercado. Permitem alterar, dentre outras variáveis, a frequência de alimentação de determinada carga elétrica, numa faixa de variação desde 1,5 até 400 Hz, ajustando-a de modo a obter rendimentos próximos ao nominal, isto é, rendimento do motor para a condição de 100% da carga nominal, garantindo fator de potência superior a 92%, que é atualmente o valor mínimo exigido pela legislação.



3.3.2 - Economia de Energia em Sistemas de Bombeamento

Para ilustrar a potencialidade do uso de inversores de frequência em sistemas de bombeamento para fins de conservação de energia apresenta-se a seguir uma análise técnica e econômica deste empreendimento. Para isto adotou-se um sistema hipotético de bombeamento cujos dados são:

- Desnível geométrico entre reservatórios = 25m
- Vazão nominal do sistema = 100 m³/h
- Número de horas de funcionamento por ano = 8.000 h
- Custo da energia = R\$ 60,00 / MWh
- Fluido de trabalho = Água (densidade = 1)
- Rendimento do acoplamento motor-bomba = 100%
- Rendimento do motor = 93,1% (ARPLUS 40 CV – 3.560 rpm – 100% de carga)
- Bomba – Tipo KSB meganorm 50-160 com o rotor 174

Considerou-se o regime de trabalho do sistema de bombeamento conforme apresentado na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Ciclo de trabalho

Ponto	Vazão (m³/h)	Horas de funcionamento
1	30	1.500
2	50	2.000
3	70	2.000
4	100	2.500

O cálculo da potência hidráulica necessária para o bombeamento em questão é realizado pela equação 3.9, conforme estabelecido na referência [33]

$$Ph = \frac{\rho.Q.H}{274}$$

(3.9)

sendo: Ph – potência hidráulica em HP (potência na saída da bomba)

ρ - densidade do fluido

Q – vazão (m³ /h)

H – Pressão (metros de coluna d’água – mca)



De posse das curvas do sistema e da bomba, bem como dos valores nominais do processo (vazão, densidade, etc), pode-se calcular a energia consumida pelo sistema no caso de controle com válvula de estrangulamento.

Para o 1º ciclo de trabalho, cuja vazão é 30m³/h, é encontrado no gráfico (rotor 174) uma pressão de ~62mca, então, a potência na saída da bomba é:

$$P_h = \frac{1.30.62}{274} = 6,79 \text{ HP}$$

Do mesmo gráfico, retiramos o rendimento da bomba, que para este caso é ~57%. Com estes dois valores encontramos a potência no eixo da bomba:

$$P_b = \frac{6,79}{57\%} = 11,91 \text{ HP}$$

De acordo com os dados acima, o rendimento do acoplamento motor-bomba é de 100%, então a potência no eixo do motor é:

$$P_e = \frac{P_b}{\eta_{\text{acoplamento}}} = \frac{11,91}{100\%} = 11,91 \text{ HP}$$

Mas, o rendimento do motor é 93,1%, portanto:

$$P_{\text{motor}} = \frac{11,91}{93\%} = 12,79 \text{ HP}$$

Transformando para kW tem-se:

$$P_{\text{motor}} = 12,79 \text{ HP} \times 746 = 9,54 \text{ kW}$$

A energia consumida neste ciclo de trabalho será:

$$E = \frac{9,54}{1000} \times 1500 = 14,31 \text{ MWh}$$

O custo da energia será:

$$C_E = 14,31 \text{ MWh} \times \text{R\$}60,00/\text{MWh} = \text{R\$}858,00$$

Este cálculo se repete para todos os ciclos de trabalhos. Os valores calculados são mostrados na Tabela 3.9. No final da tabela é mostrado o custo total da energia em 1 ano para a bomba funcionando 8000h no ano.

Tabela 3.9 – Planilha de cálculo para a bomba usando válvula de estrangulamento

Ponto	Vazão (m³/h)	Horas	Pressão	Ph (HP)	η bomba (%)	BHP (HP)	Pelet (HP)	Pelet (kW)	Energia (MWh)	Custo (R\$/ano)
1	30	1500	62	6,79	57	11,91	12,79	9,54	14,31	858,60
2	50	2000	61	11,13	69	16,13	17,33	12,93	25,86	1551,60
3	70	2000	57,5	14,68	76,3	19,25	20,70	15,44	30,88	1853,22
4	100	2500	51	18,61	80	23,27	25,02	18,66	46,65	2799,47
Total									117,7	7062,89

Na Tabela 3.10, é simulado o funcionamento do sistema caso o controle de vazão seja feito pela variação da velocidade da bomba, e não mais pela válvula de estrangulamento.

O procedimento dos cálculos é o mesmo desenvolvido acima, muda, apenas, o gráfico para encontrar o valor da pressão que passa a ser o gráfico para economia de energia.

Tabela 3.10 – Planilha de cálculo para a bomba usando acionamento eletrônico

Ponto	Vazão (m³/h)	Horas	Pressão	Ph (HP)	η bomba (%)	BHP (HP)	Pelet (HP)	Pelet (kW)	Energia (MWh)	Custo (R\$/ano)
1	30	1500	29	3,18	50	6,36	6,83	5,09	7,64	458,40
2	50	2000	33	6,02	72	8,36	8,98	6,70	13,40	804,00
3	70	2000	39	9,96	77,5	12,85	13,82	10,31	20,62	1237,20
4	100	2500	48	17,52	80,1	21,87	23,52	17,54	43,86	2631,60
Total									85,52	5131,20

Comparando as Tabelas 3.9 e 3.10, podemos dizer que a instalação do acionamento eletrônico para o controle de vazão possibilita uma economia de energia anual de 32,18 MWh, gerando uma redução na conta de energia de R\$ 1931,69 por ano.

O custo aproximado de um acionamento eletrônico para um motor de 30 CV é de R\$ 6.000,00. Portanto, o tempo de retorno simples desse investimento será de 37 meses.

3.4 – Conservação de Energia Pelo Lado da Oferta

Com o objetivo de investigar os efeitos de um programa de conservação de energia pelo lado da oferta, realizou-se com a colaboração da empresa de energia elétrica ENERSUL, sediada em Campo Grande - MS, uma série de medições em um ramal de distribuição secundário

220/127V. Para isto adotou-se a seguinte metodologia:

- Elaborou-se um plano de medições em campo;
- Realizou-se gestão junto à Gerência de Redes da Concessionária para a escolha de um circuito secundário de distribuição para a realização das medições;
- Elaborou-se um relatório relacionando-se as residências visitadas e as respectivas cargas instaladas;
- Fez-se medições em alguns pontos do circuito, desde o ponto de entrega de energia às unidades consumidoras até o barramento secundário do transformador de distribuição;
- Instalaram-se, nos consumidores conectados ao circuito secundário selecionado, dispositivos considerados energeticamente eficientes, principalmente lâmpadas fluorescentes compactas. ;
- Realizou-se novas medições no circuito;

3.4.1 - Circuito Selecionado para Estudo

O circuito selecionado localiza-se entre as ruas Paissandu, Eng. Roberto Mange e Luiz Gama em Campo Grande - MS e é alimentado pelo transformador 15294-3-75. A Figura 3.4 representa o desenho esquemático da localização do referido circuito.

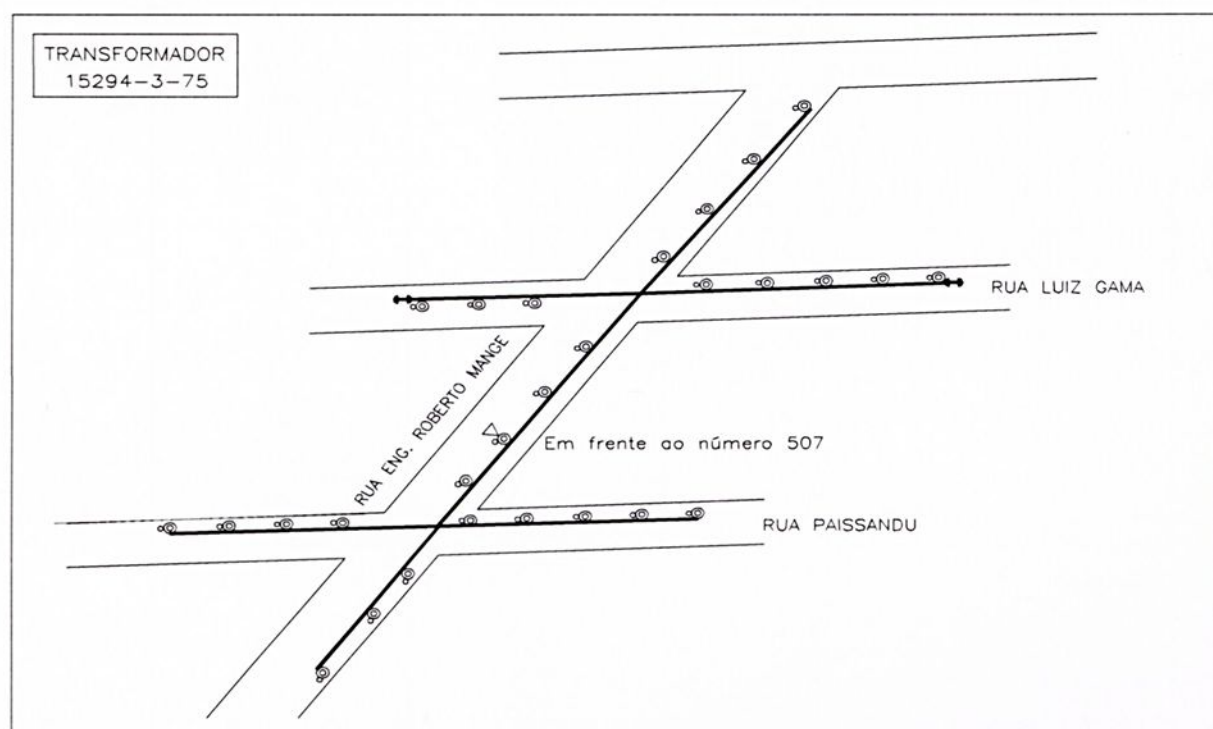


Figura 3.4 – Circuito selecionado para o estudo.

3.4.2 - Dispositivos Eficientes Distribuídos e Instalados

Os dispositivos eficientes foram distribuídos e instalados pela concessionária de energia elétrica local no dia 17/10/2000. A Tabela 3.11 apresenta a relação dos dispositivos distribuídos, e a Tabela 3.12, a relação dos consumidores contemplados e as respectivas substituições dos dispositivos comuns (lâmpadas incandescentes) por eficientes (lâmpadas fluorescentes compactas, controladores de temperatura de chuveiro e *dimmer*).

Tabela 3.11 - Relação dos dispositivos distribuídos e instalados.

Und.	Descrição (Dispositivos Monofásicos/ Bifásicos)	Tensão (V)	Potência (W)
190	Lâmpada fluorescente compacta	127	23
10	Lâmpada fluorescente compacta	220	23
01	Regulador estático de luminosidade - "dimmer"	127	100
01	Regulador estático de temperatura para chuveiro	220	6500

Tabela 3.11 – Consumidores contemplados e dispositivos substituídos.

Rua	Número	CDC	Lâmpadas Substituídas	Total de Lâmpadas Compactas
Eng. Roberto Mange	355	356980	1x100,2x60,1x40W	4
	394	356960	4x60W	4
	402	356961	1x100, 4x60W	5
	426	356962	4x40W	4
	461	356979	4x60W	4
	467	356978	4x60W	4
	472	356971	2x60W +1control. Ch.	2
	503	356976	4x60W	4
	507	356975	2x60W	2
	537	356973	4x100, 1x60W	5
	611	356874	2x100, 2x60W	4
Luiz Gama	4	357000	1x100,1x60,1x40W	3
	20	357019	1x100,3x40W	4
	20	501940	2x100,2x60W	4
	37	357018	4x60W	4
	47	357017	1x40W	1
	48	357002	2x60W	2
	57	357015	2x100W	2
	57	357016	3x60W	3
	80	357004	4x60W	4
	87	357005	3x60W	3
	87	473566	5x60W	5
	97	357013	5x60W	5
	112	357007	4x100W	4
	127	357010	4x60W	4
	139	472957	4x60W	4
	139	357009	4x60W	4
	147	357008	5x60W	5
	184	356964	6x100W	6
	194	356965**	10x100W+1dimmer	10
	206	356967	5x60W	5
	216	356968	1x100,3x60W	4
	217	356970	1x100,4x60W	5
	300	356969	4x100,1x60W	5
Paissandu	266	356884**	5x60W	5
	276	356885	6x100W	6
	276	356887	2x100,3x60W	5
	306	356888	6x100W	6
	318	356889	2x60,2x40W	4
	328	356891	2x60,1x40W	3
	337	356882	3x100W	3
	349	356881	6x100W	6
	368	356880	4x60W	4
	470	356894	4x60W	4
	485	356901	6x100W	6
	490	356897	2x60W	2
	505	356899	4x100W	4
	537	528913	3x100,1x60W	4
Total			14790 W	200 x 23 = 4600W

Observação : Potência total instalada no circuito é de 569520 W

** Consumidores seleccionados para medição



3.4.3 - Resultados Obtidos

Foram realizadas medições no barramento secundário do transformador que alimenta o circuito, e em dois consumidores conectados ao circuito selecionado, em datas e horários distintos, antes e após a instalação dos equipamentos citados. Particularmente, é dado maior enfoque às medições nos horários das 18h às 22h, visto ser este o intervalo de tempo de carga máxima do sistema, no qual os equipamentos eficientes instalados estão em pleno funcionamento.

As medições no consumidor CDC 356884 foram realizadas no dia 06/10/2000, antes da instalação dos dispositivos eficientes, e no dia 24/10/2000, após a instalação dos mesmos. O consumidor está conectado à fase “B” do circuito selecionado. A carga instalada no consumidor antes da substituição era de 12.950W. Foram substituídas 05 lâmpadas incandescentes de 60W /127V por 05 lâmpadas fluorescentes compactas de 23W / 127V (Tabela 3.11). As medições no consumidor CDC 356965 foram realizadas no dia 09/10/2000, antes da instalação dos dispositivos eficientes, e no dia 25/10/2000, após a instalação dos mesmos. O consumidor está conectado às fases “A” e “C” do circuito selecionado. A carga instalada no consumidor antes da substituição era de 27.437W. Foram substituídas 10 lâmpadas incandescentes de 100W / 220V por 10 lâmpadas fluorescentes compactas de 23W / 220V, e instalado um regulador estático de luminosidade - “dimmer” de 100 W (Tabela 3.11). Os resultados obtidos nas medições nos consumidores citados encontram-se resumidos na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Potências antes e após a instalação dos dispositivos eficientes

Consumidor	Antes da instalação		Após a instalação	
	Potência Aparente (kVA)	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (kVA)	Potência Ativa (W)
CDC 356884	0,99	0,92	0,63	0,57
CDC 356965	0,85	0,85	0,97	0,66

Para a avaliação nos consumidores citados alguns cuidados foram tomados no sentido de instruí-los para que mantivessem o mesmo perfil de consumo nos dias selecionados para a realização das medições antes e após a implantação dos dispositivos eficientes. Os resultados mostram, como esperado, uma diminuição efetiva no consumo de potência ativa, embora a potência aparente tenha aumentado para o consumidor CDC 356965.

Para a avaliação global do impacto das medidas de eficiência energética, foram

registradas as potências ativa e aparente no barramento secundário do transformador 15294-3-75, antes e depois da instalação dos dispositivos eficientes, conforme figuras 3.5 e 3.6.

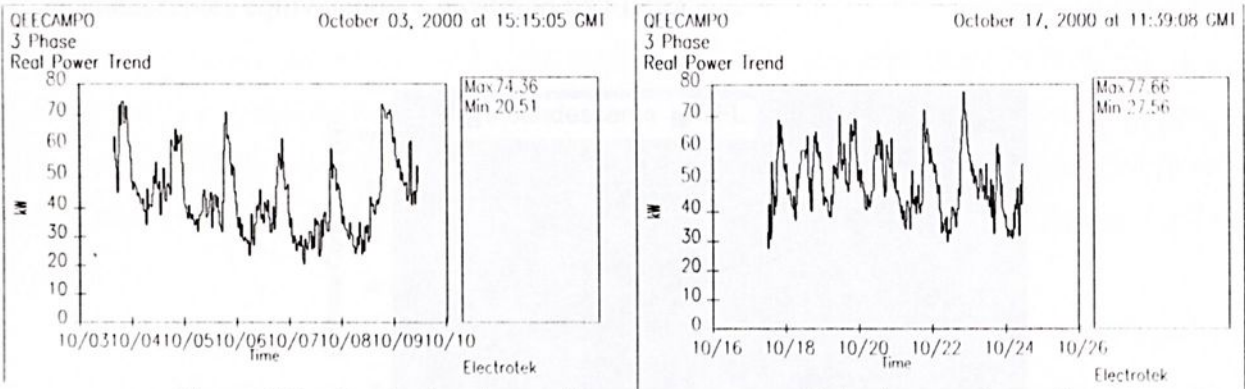


Figura 3.5 - Potência ativa no barramento secundário do transformador

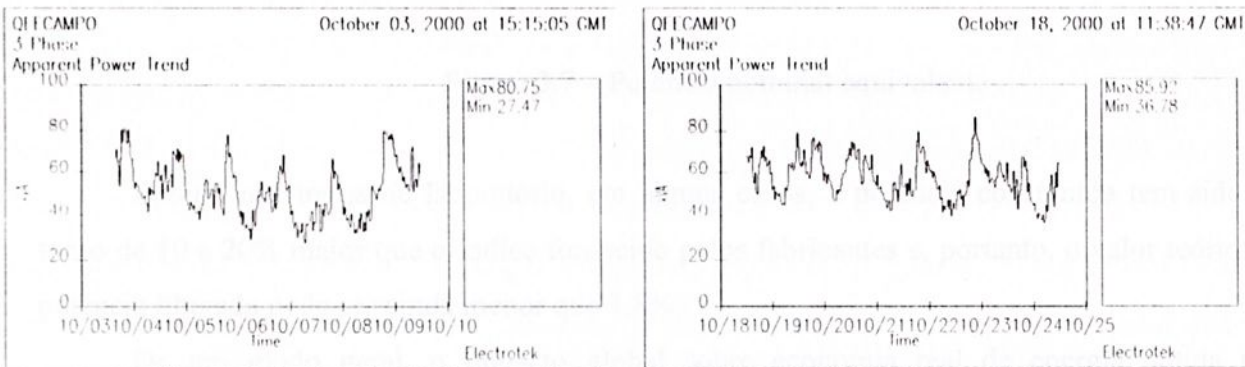


Figura 3.6 - Potência aparente no barramento secundário do transformador

A análise das medições das Figuras 3.5 e 3.6, efetuadas, antes e após a instalação dos dispositivos eficientes, no barramento secundário do transformador não mostra com clareza os resultados decorrentes da implantação do projeto de conservação de energia. Mesmo isolando um dia típico da semana não foi possível constatar nenhuma diminuição do consumo de potência ativa, reativa ou aparente, apesar dos resultados terem sido colhidos dentro do mesmo mês. Neste caso, descartando possíveis mudanças dos hábitos de consumo devido a fatores sazonais tais como o clima, é possível concluir que o impacto causado por este programa de GLD foi inexpressivo. Isto se deve ao pequeno percentual de substituição dos equipamentos quando comparados à potência total instalada no circuito. A potência total substituída é de 14790 W, ou 2,6% da potência total instalada, enquanto que a nova potência implantada é de 4600 W, ou seja 0,8% da potência total instalada, liberando 10190 W que representa aproximadamente 1,8% da potência total instalada.

O programa de conservação de energia implantado foi quase na sua totalidade baseado na substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas, conforme ilustrado na Tabela 3.11. Estas, como se sabe, consomem menos energia que as lâmpadas

incandescentes tomando-se por base de comparação o fluxo luminoso produzido. Índices típicos comparativos entre as potências nominais das lâmpadas fluorescentes compactas e lâmpadas incandescentes equivalentes é mostrado na Figura 3.7.

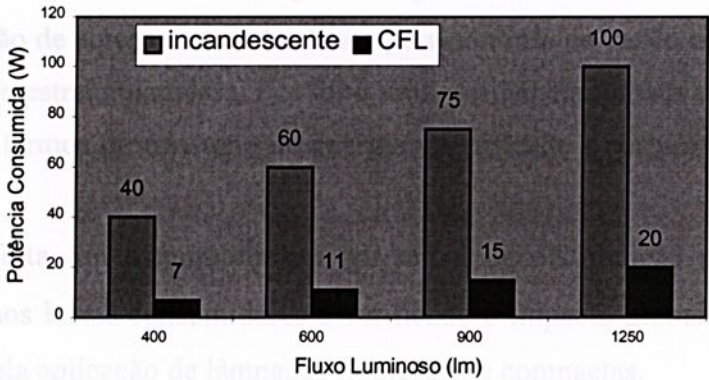


Figura 3.7 – Potência nominal equivalente

Porém, nos testes de laboratório, em alguns casos, a potência consumida tem sido em torno de 10 a 20% maior que o índice fornecido pelos fabricantes e, portanto, o valor teórico da potência liberada pode ser ainda menor que 1,8%.

De um modo geral, o impacto global sobre economia real de energia obtida pela aplicação de lâmpadas fluorescente compactas depende da proporção de energia elétrica consumida por lâmpadas elétricas nas residências com relação as demais cargas presentes no mesmo ramal de distribuição. No Brasil, estudos mostram que cerca de 7% da energia elétrica é usada pela iluminação residencial, sendo este setor responsável por um consumo em torno de 28% da energia total ofertada. Considerando pois estes índices indicativos, e admitindo três diferentes cenários de substituição de lâmpadas, a Tabela 3.13 mostra a redução de consumo de energia esperado pela introdução de lâmpadas fluorescente compactas (LFC) na cargas de iluminação residencial.

Tabela 3.13 – Conservação de energia utilizando-se LFC's

Substituição por LFC's	Redução do Consumo de Energia Residencial	Redução do Consumo de Energia Total
10% das incandescente	2%	0,56%
20% das incandescentes	4%	1,12%
40% das incandescentes	8%	2,24%

3.5 – Conclusão

Dentre as ações de efficientização energética, pelo lado da demanda, neste capítulo foi estudado a substituição de reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos numa sala de estudos 24h, e a aplicação de acionamento eletrônico para controle de vazão em uma bomba, em substituição à válvula de estrangulamento. Foi feita uma análise comparativa das performances destes dispositivos, em termos de consumo de energia e verificado a viabilidade econômica de sua aplicação.

Pelo lado da oferta, foi disponibilizado um ramal de distribuição para instalação de dispositivos eficientes nos locais consumidores e verificado o impacto global sobre a economia real de energia obtida pela aplicação de lâmpadas fluorescente compactas.

Concluiu-se que os benefícios da instalação de lâmpadas fluorescentes compactas são geralmente superestimados. A vida média das lâmpadas fluorescentes compactas é em torno de 5000 a 6000 horas, porém, esta estimativa é baseada em 3 horas ligadas ao dia. Quando elas são ligadas com muita frequência, seu tempo de vida útil pode ser significativamente mais curto. As lâmpadas fluorescentes compactas são, normalmente, muito caras, e quando comparadas com o preço de uma lâmpada incandescente o período de retorno do investimento é muito prolongado.

Diante disso, fica evidente que na implantação de um programas de conservação de energia, a identificação do potencial de redução do consumo de energia elétrica, por vezes, responsável por uma parcela significativa das despesas de uma instalação não é, no entanto, elemento decisório para a aprovação das modificações a serem introduzidas na instalação ou mesmo em um projeto. Alterações que demandem investimentos adicionais devem vir sempre acompanhados de uma análise econômica/ financeira.

No próximo capítulo serão mostrados resultados de ensaios laboratoriais em alguns equipamentos de uso residencial e comercial, entre eles lâmpadas fluorescentes compactas, reatores eletromagnéticos e reatores eletrônicos. Será caracterizado as formas de onda resultantes da operação desses dispositivos.

ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM EQUIPAMENTOS DE EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA

4.1 - Introdução

No item iluminação existe um elevado potencial de economia de eletricidade. A iluminação tem experimentado nos últimos anos grande evolução tecnológica, notadamente no que tange às lâmpadas compactas e com reatores eletrônicos, com novas ofertas no mercado de lâmpadas de descarga de baixo consumo de energia e de alta eficiência luminosa.

O uso de reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes tem despertado um interesse crescente devido à possibilidade de otimização do fluxo luminoso da lâmpada, eliminando o efeito “flicker” e o ruído audível, redução das perdas e conseqüentemente redução do consumo de energia, resultando em instalações com qualidade e custos inicial e operacional otimizados.

Devido às características de não-linearidade dos componentes eletrônicos que compõem esses dispositivos de economia de energia e outros, existe uma preocupação com os níveis de poluição elétrica causados por esses equipamentos.

Portanto, serão apresentados os resultados de testes realizados em laboratório em uma variedade de lâmpadas, reatores e outros equipamentos de uso residencial e comercial. O estudo está direcionado para a avaliação das não-linearidades apresentadas pelos diferentes dispositivos ensaiados, através de medidas de RMS verdadeiro, fator de potência, conteúdo harmônico e distorção harmônica total das correntes de alimentação.

4.2 - Metodologia

Adotou-se, como procedimento padrão nos ensaios realizados, o controle rigoroso da tensão de alimentação, definindo-se para esta, uma forma de onda senoidal, valor eficaz e frequência constantes, e índice de distorção abaixo de 1%. Desta forma, os desvios observados

sobre as formas de onda das correntes de alimentação com relação a uma onda senoidal pura, praticamente estão associados às não-linearidades inerentes aos dispositivos analisados.

Neste sentido, adotou-se a seguinte metodologia:

- a) As medições foram efetuadas a uma temperatura ambiente controlada de 25° C;
- b) Os requisitos estabelecidos para a tensão de alimentação foram obtidos com o uso da fonte de alimentação de precisão California Instruments, modelo 5000iL;
- c) As medições foram realizadas após cinco minutos de funcionamento ininterrupto dos diferentes dispositivos, para garantir sua estabilidade térmica;
- d) As medidas de potência ativa, reativa, aparente e fator de potência foram obtidas a partir do medidor de potência Yokogawa MW 110 e confirmadas através dos sinais de corrente e tensão obtidos a partir do osciloscópio Tektronics TDS 420 e processados pelo software WaveStar®;
- e) O conteúdo harmônico e respectivas taxas de distorção foram obtidos a partir do osciloscópio Tektronics TDS 420 , processados pelo software WaveStar®;
- f) Todas as medidas efetuadas nos equipamentos Yokogawa MW 110 e Osciloscópio Tektronics foram utilizadas para a calibração do sistema de aquisição de dados Wavebook 16 IOtech, bem como para o ajuste numérico das rotinas de processamento de sinais desenvolvidas no ambiente DasyLab® 4.0;
- g) O arranjo experimental utilizado nos ensaios é ilustrado na Figura 4.2.



4.3 - Dispositivos Analisados

Tabela 4.1- Relação de Dispositivos Analisados

item	Descrição	Tensão (V)	Potência (W)
<i>Dispositivos monofásicos</i>			
01	Lâmpada fluorescente compacta	127	27
02	Lâmpada fluorescente circular	127	26
03	Lâmpada fluorescente compacta	127	23
04	Lâmpada econômica	110 a 120	16
05	Lâmpada fluorescente compacta	110 a 145	15
06	Lâmpada fluorescente compacta espiral	130	11
07	Lâmpada fluorescente compacta	127	10
08	Reator eletrônico A - 2x32W partida ultra-rápida	127 / 220	60
09	Reator eletrônico A - 2x40W partida ultra-rápida	127 / 220	66
10	Reator eletrônico B partida rápida 2x40W	127 / 220	67 / 66
11	Reator eletromagnético partida rápida 2x40W	127	67
12	Reator eletrônico 2x36/40W	127	76
13	Monitor de Vídeo 15"	100 a 240	
14	Cpu - Pentium 166	115 / 230	
15	Forno de Microondas	120	930
16	Vídeo cassete	100 a 240	23
17	Televisor 14"	110 / 220	76
18	Regulador estático de luminosidade - "dimmer"	127	100
19	Regulador estático de temperatura para chuveiro	220	6500

Obs.: foram ensaiados todos os dispositivos acima relacionados, mas serão mostrados neste capítulo apenas alguns itens desta relação. Os demais encontram-se no Anexo I.

4.4 - Equipamentos de Medição Utilizados

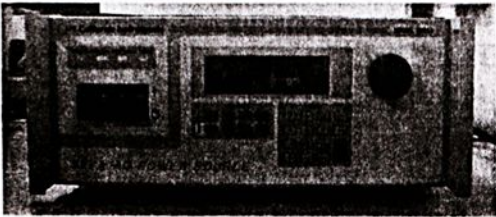
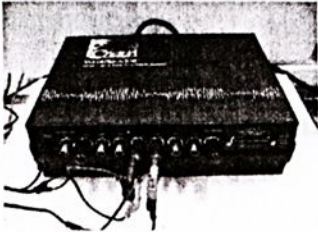
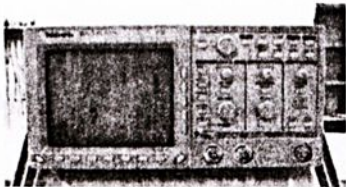
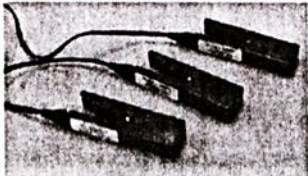
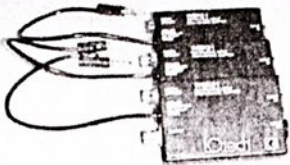
	Fonte de Alimentação Monofásica / Simulador de Distúrbios California Instruments / modelo 5000iL 5 kVA; 0-400V; 45Hz a 66Hz Programação via software – interfaces RS232, GPIB Distúrbios: sags, sweels, surges, notching, interruptions
	Medidor Digital de Potência classe 0,3% - 10Hz a 10KHz Yokogawa – WT 110
	Sistema de Aquisição de Dados <i>Wavebook 16 IOtech</i> Conversão A/D 1.0 MHz em 16 bits 8 canais simultâneos (S&H) Software para Processamentos de Sinais DasyLab 32 - versão 4.01 - IOtech
	Osciloscópio Tektronix TDS 340 A - digital – 100 MHz 2 canais Software para Processamentos de Sinais WaveStar - versão 1. 3 - Tektronix
	Ponteiras de Corrente - classe 2% - 40Hz a 3Khz Probe AC/10 1mA a 10A - sensibilidade 100mV/A Probe AC/100 1A a 100A - sensibilidade 10mV/A Probe ACDC/100 100mA a 100A - sensibilidade 10mV/A
	Transdutores de Tensão - classe 0.1% - 500Khz WBK61 - IOtech - 200:1

Figura 4.1- Equipamentos utilizados na medição

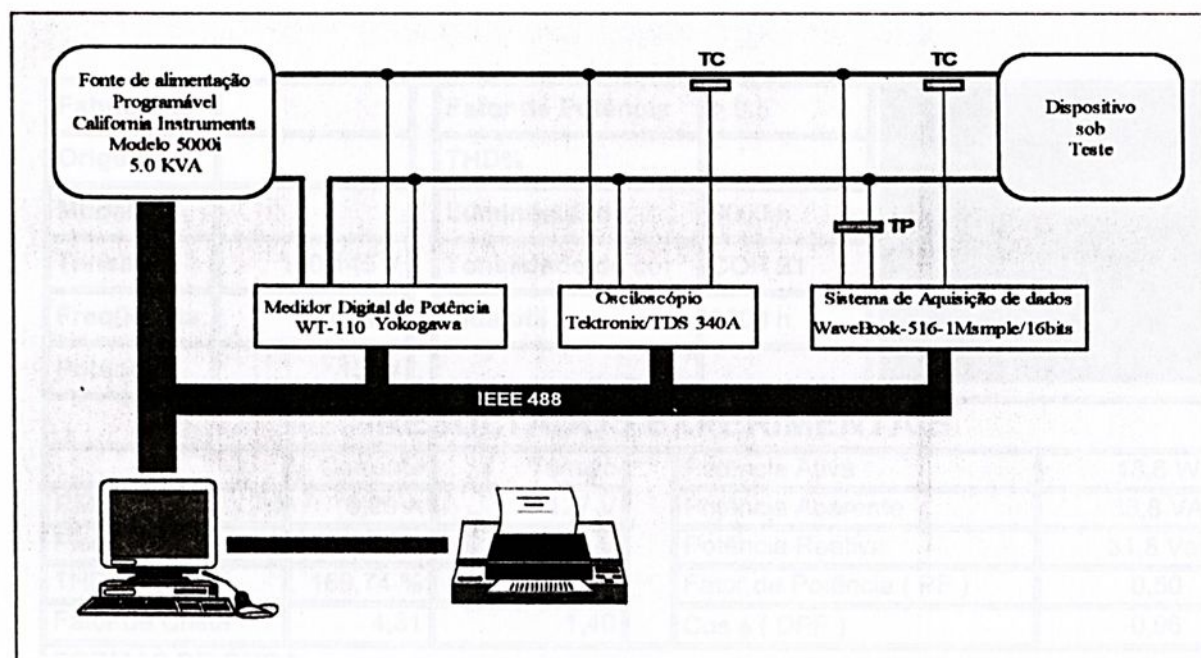
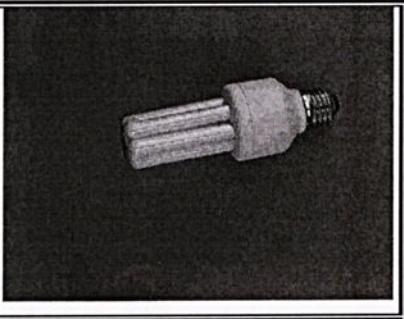


Figura 4.2 - Arranjo experimental para ensaios monofásicos

4.5 - Resultados Experimentais

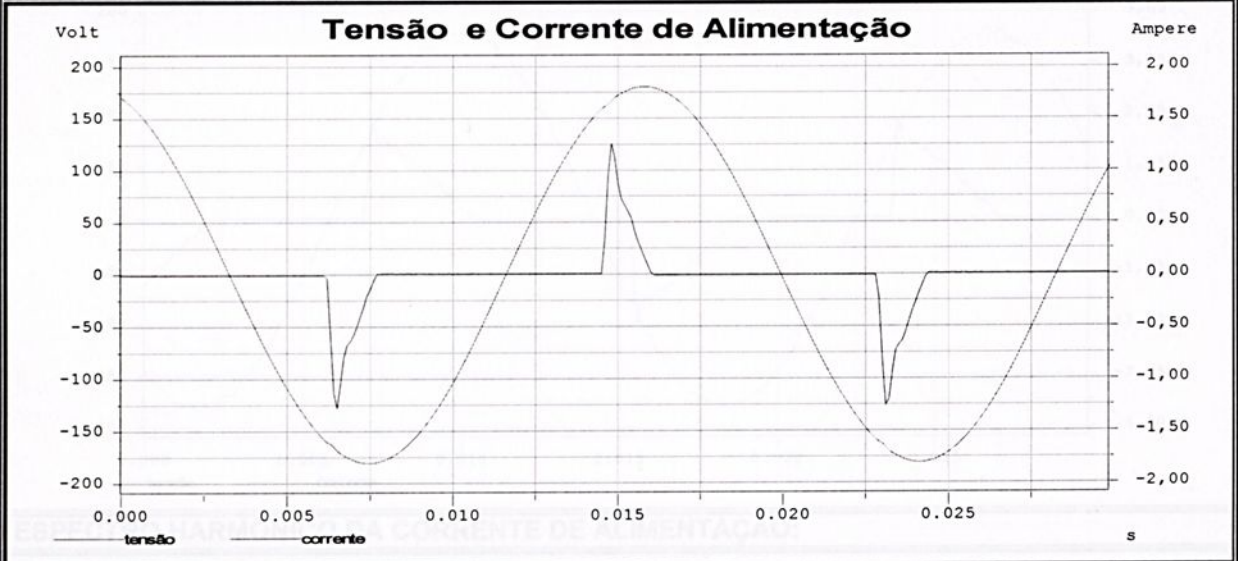
Os resultados experimentais apresentados mostram para cada dispositivo analisado, as principais grandezas elétricas associadas ao seu funcionamento, admitindo-se seu uso a partir de uma rede secundária de distribuição de energia elétrica com tensão nominal de 127 V entre fases e neutro e 220V entre linhas, frequência 60Hz e $\text{THD} \leq 1\%$. Os resultados detalhados das componentes harmônicas da tensão e corrente de alimentação são ilustrados no Anexo I.

Fabricante		Fator de Potência	≥ 0,5	
Origem		THD%		
Modelo		Luminosidade	900 lm	
Tensão	110/145 V	Tonalidade de cor	COR 21	
Frequência	50/60 Hz	Vida útil	8000 h	
Potência	15 W			

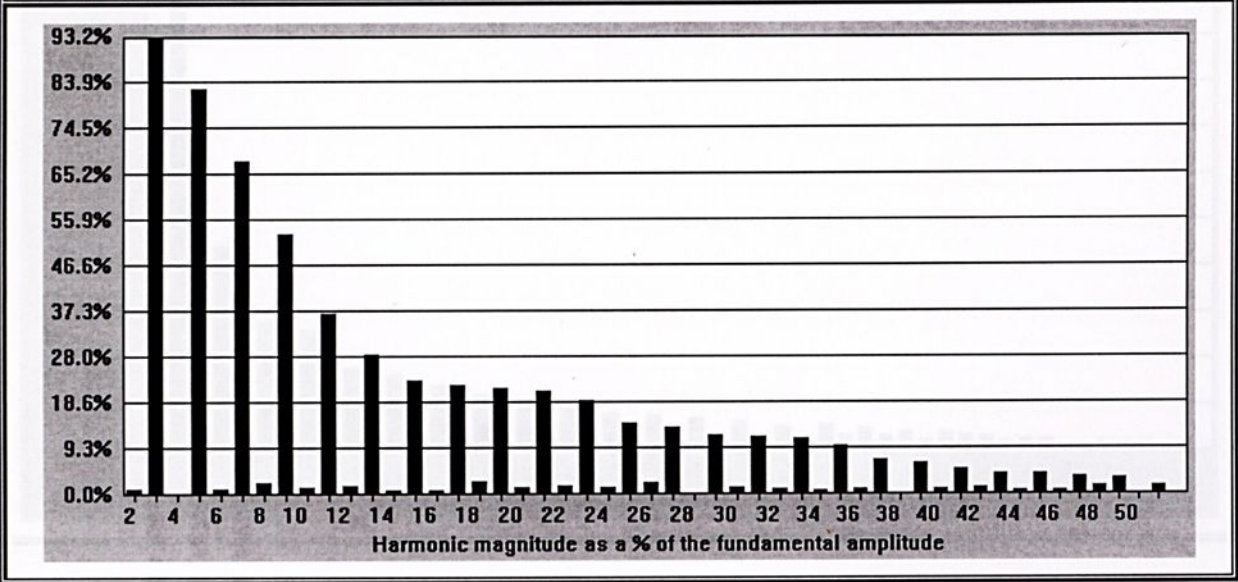
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

	Corrente	Tensão	Potência Ativa	18,6 W
RMS	0,29 A	127 V	Potência Aparente	36,8 VA
Pico	1,25 A	178 V	Potência Reativa	31,8 Var
THD	169,74 %	0,70 %	Fator de Potência (PF)	0,50
Fator de Crista	4,31	1,40	Cos φ (DPF)	0,96

FORMAS DE ONDA:



ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:

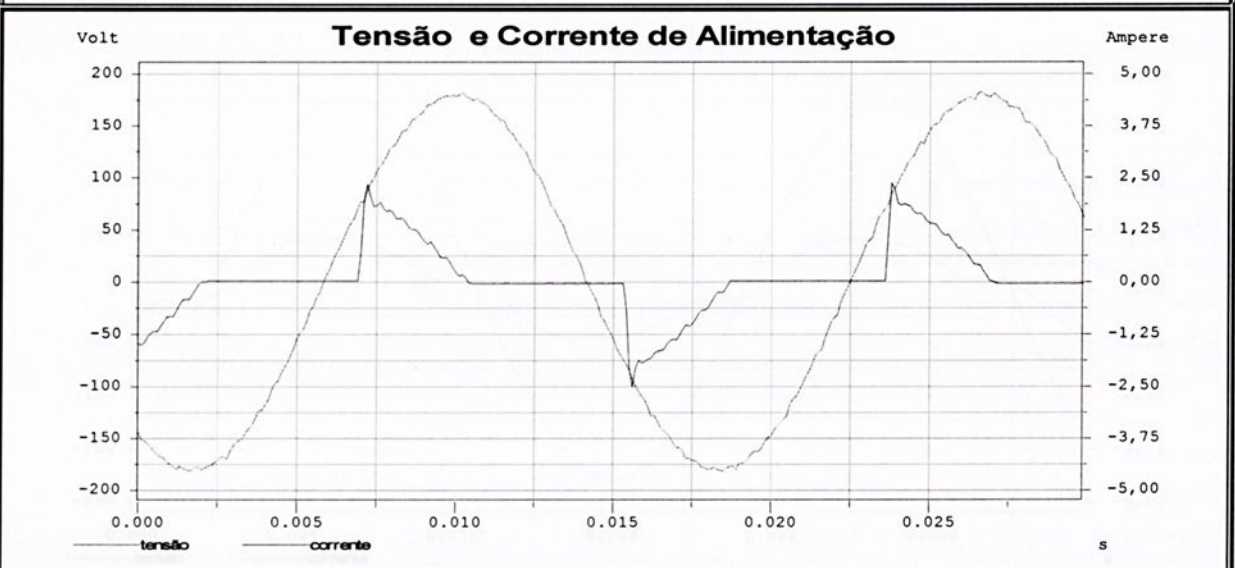


Fabricante	B	Fator de Potência	0,62
Origem		THD%	
Lâmpadas	2 x 40 W	Luminosidade	
Tensão	127/220 V	Tonalidade de cor	
Frequência	50/60 Hz	Vida útil	
Potência	67/66 W		

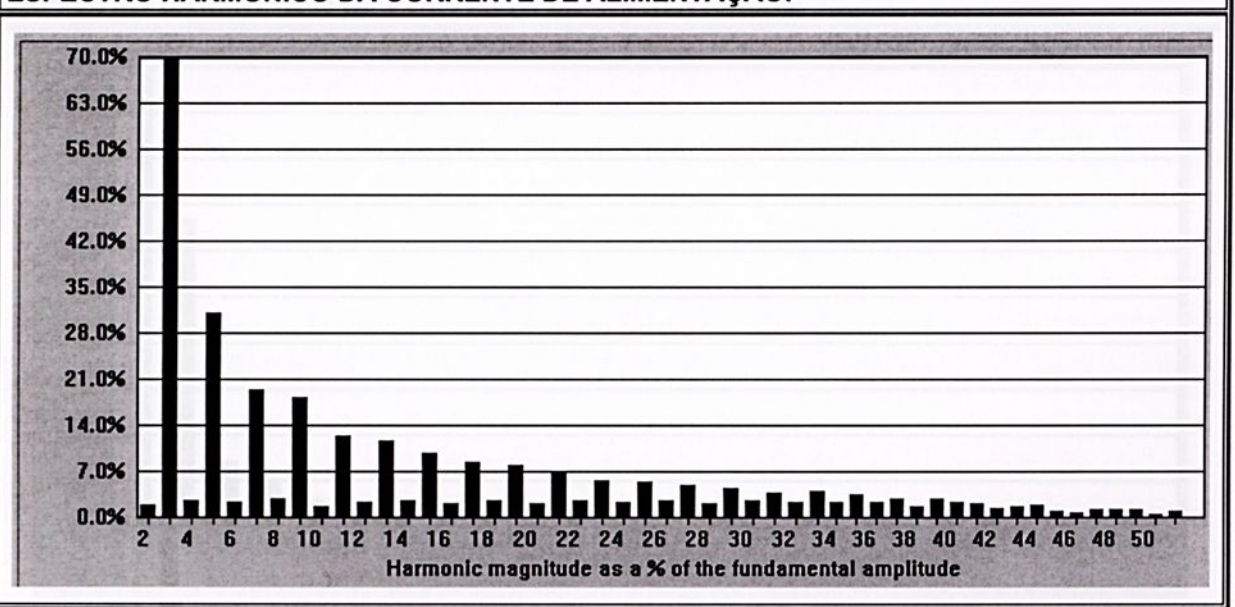


RESULTADOS EXPERIMENTAIS					
	Corrente	Tensão		Potência Ativa	62,5 W
RMS	0,84 A	127 V		Potência Aparente	102,0 VA
Pico	2,36 A	178 V		Potência Reativa	80,1 Var
THD	87,15%	0,83 %		Fator de Potência (PF)	0,62
Fator de Crista	2,81	1,40		Cos ϕ (DPF)	0,77

FORMAS DE ONDA:



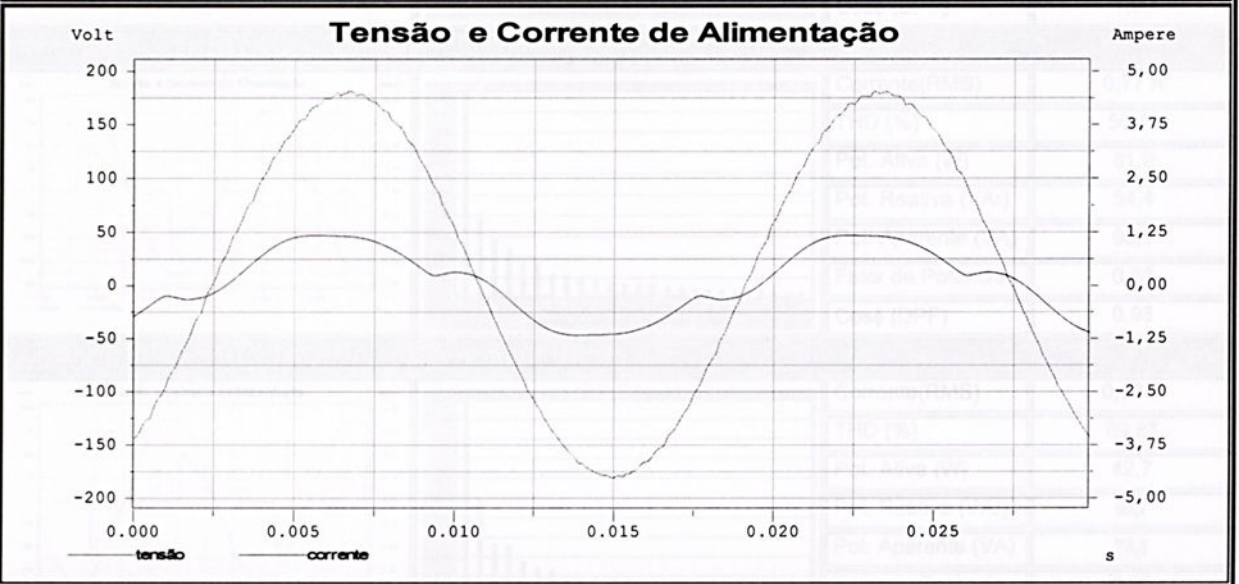
ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:



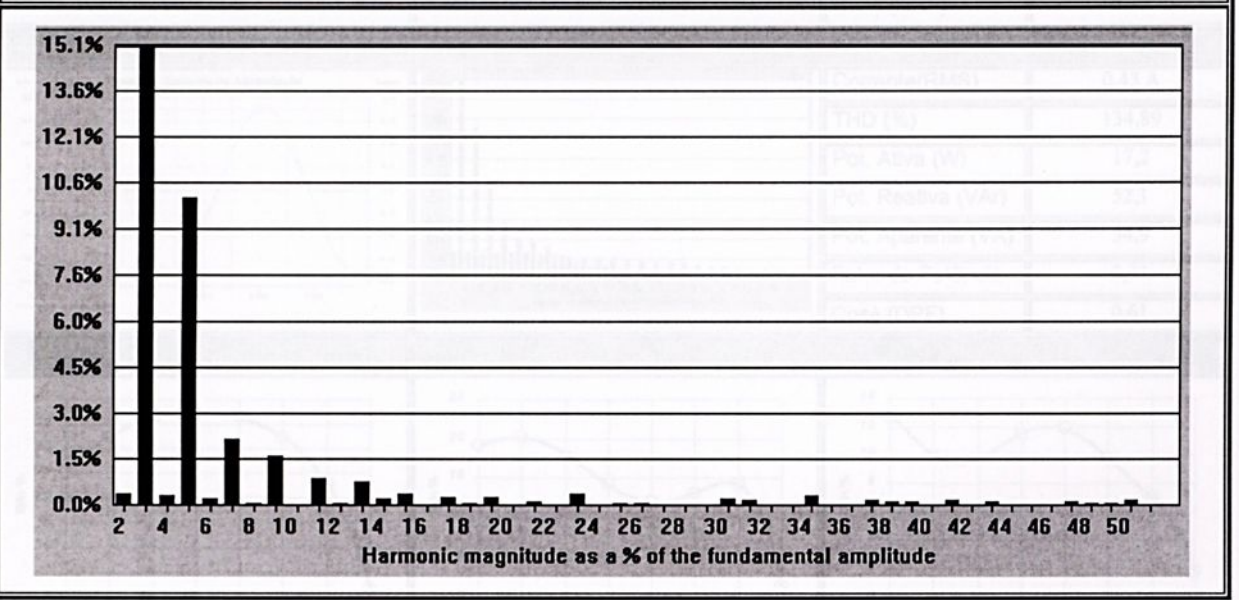
Fabricante		Fator de Potência	≥ 0,95	
Lâmpadas	2 x 40 W	THD%		
Modelo	Eletromagnét.	Luminosidade		
Tensão	127 V	Tonalidade de cor		
Frequência	60 Hz	Vida útil		
Potência	67 W			

RESULTADOS EXPERIMENTAIS				
	Corrente	Tensão	Potência Ativa	99,8 W
RMS	0,80 A	128 V	Potência Aparente	102,0 VA
Pico	1,14 A	178 V	Potência Reativa	22,1 Var
THD	18,51 %	0,74 %	Fator de Potência (PF)	0,98
Fator de Crista	1,42	1,39	Cos φ (DPF)	0,996

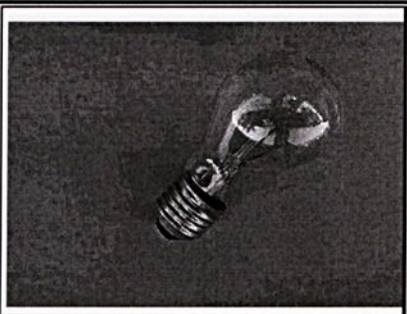
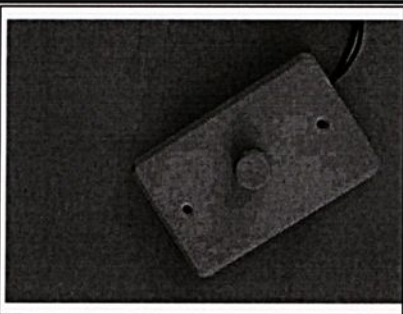
FORMAS DE ONDA:



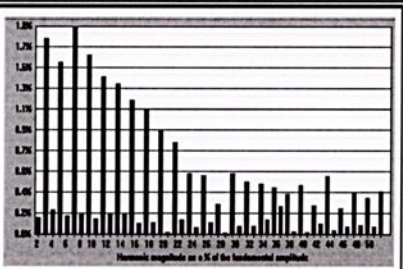
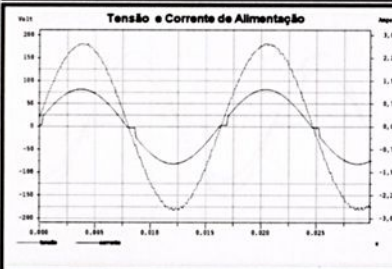
ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:



Fabricante	
Origem	
Modelo	
Tensão	127V / THD<0,5%
Potência	100 W
Lâmpada	100 W

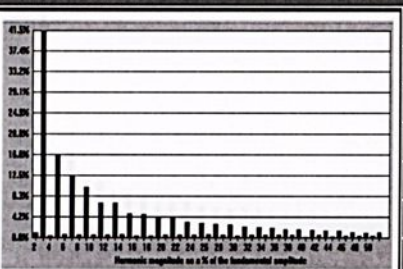
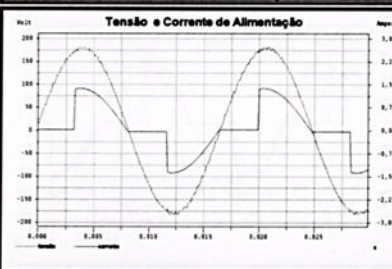


FORMAS DE ONDA: V= 100% Vnominal



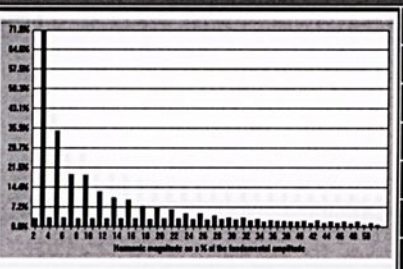
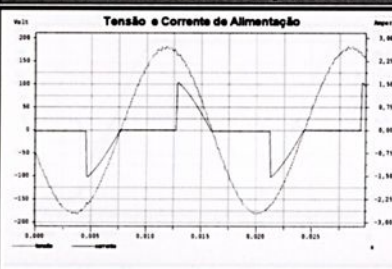
Corrente(RMS)	0,87 A
THD (%)	4,74
Pot. Ativa (W)	111
Pot. Reativa (VAr)	9,08
Pot. Aparente (VA)	111
Fator de Potência	0,99
Cosφ (DPF)	1,00

FORMAS DE ONDA: para V= 80% Vnominal



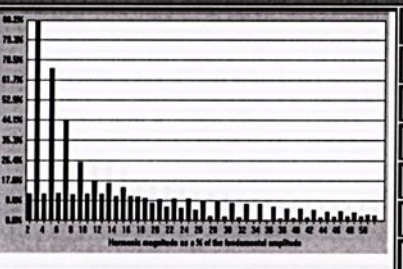
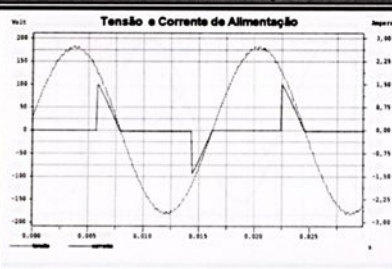
Corrente(RMS)	0,77 A
THD (%)	50,47
Pot. Ativa (W)	81,9
Pot. Reativa (VAr)	54,4
Pot. Aparente (VA)	98,3
Fator de Potência	0,83
Cosφ (DPF)	0,93

FORMAS DE ONDA: para V= 50% Vnominal



Corrente(RMS)	0,62 A
THD (%)	89,87
Pot. Ativa (W)	42,7
Pot. Reativa (VAr)	65,7
Pot. Aparente (VA)	78,4
Fator de Potência	0,55
Cosφ (DPF)	0,73

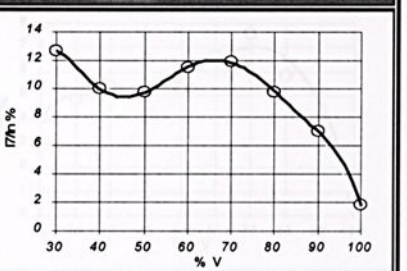
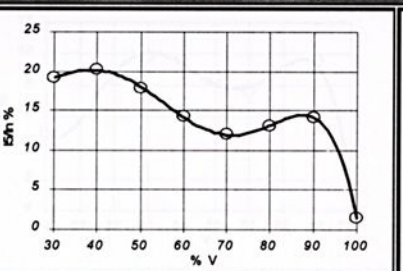
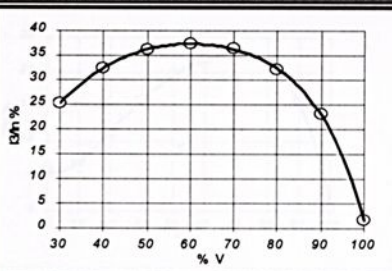
FORMAS DE ONDA: para V= 30% Vnominal



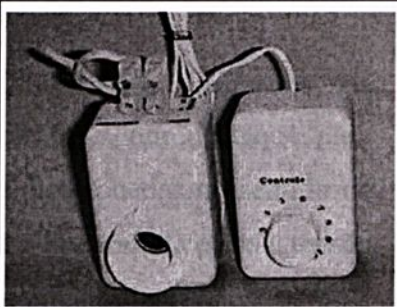
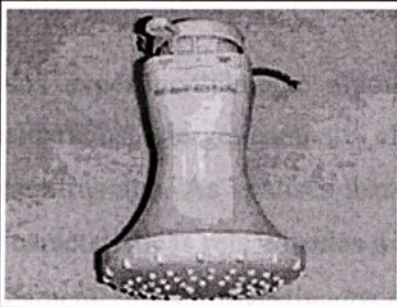
Corrente(RMS)	0,43 A
THD (%)	134,89
Pot. Ativa (W)	17,2
Pot. Reativa (VAr)	52,1
Pot. Aparente (VA)	54,9
Fator de Potência	0,31
Cosφ (DPF)	0,61

Variação das harmônicas individuais (% I_{nominal} X % V_{nominal})

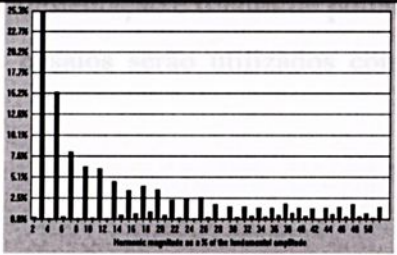
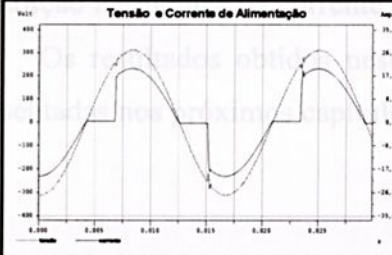
I_{nominal} = 0,89 A



Fabricante	
Origem	
Modelo	
Tensão	220 V
Potência	6500 W
Chuveiro	posição:3000 W

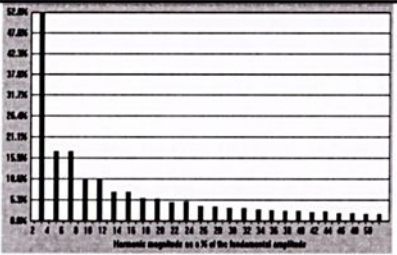
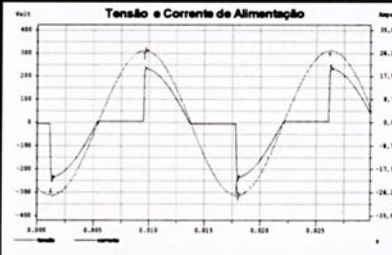


FORMAS DE ONDA: V= 90% Vnominal



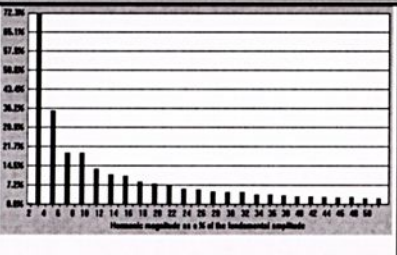
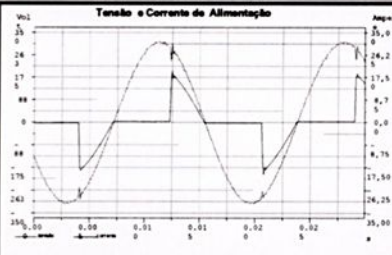
Corrente(RMS)	14,5 A
THD (%)	33,88
Pot. Ativa (W)	2680
Pot. Reativa (VAr)	1730
Pot. Aparente (VA)	3190
Fator de Potência	0,84
Cosφ (DPF)	0,98

FORMAS DE ONDA: para V= 70% Vnominal



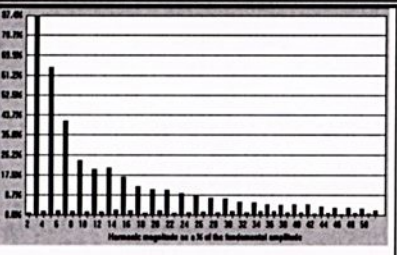
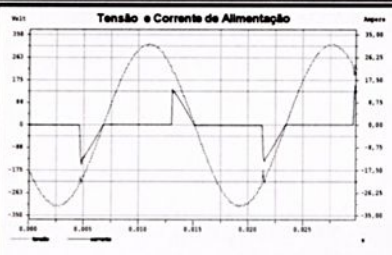
Corrente(RMS)	10,2 A
THD (%)	63,1
Pot. Ativa (W)	1650
Pot. Reativa (VAr)	1530
Pot. Aparente (VA)	2250
Fator de Potência	0,73
Cosφ (DPF)	0,87

FORMAS DE ONDA: para V= 50% Vnominal



Corrente(RMS)	7,33 A
THD (%)	90,42
Pot. Ativa (W)	876
Pot. Reativa (VAr)	1320
Pot. Aparente (VA)	1580
Fator de Potência	0,55
Cosφ (DPF)	0,72

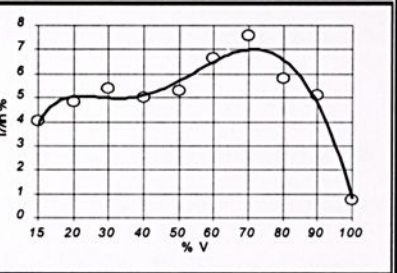
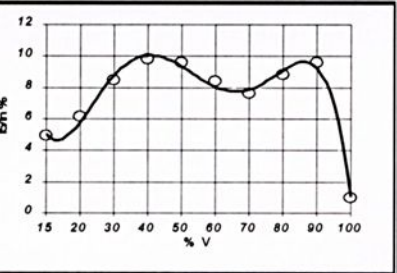
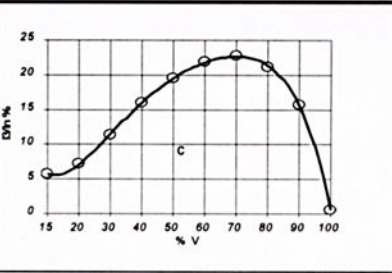
FORMAS DE ONDA: para V= 30% Vnominal



Corrente(RMS)	4,32 A
THD (%)	128,19
Pot. Ativa (W)	317
Pot. Reativa (VAr)	895
Pot. Aparente (VA)	950
Fator de Potência	0,33
Cosφ (DPF)	0,53

Variação das harmônicas individuais (% I_{nominal} X % V_{nominal})

I_{nominal} = 20 A



4.6 - Comentários Finais

Neste capítulo foram avaliados experimentalmente alguns dispositivos utilizados nas instalações elétricas em geral, considerados energeticamente eficientes, com destaque para aqueles utilizados no Capítulo III deste trabalho. As análises foram direcionadas no sentido de identificar e quantificar as principais características relacionadas a não-linearidade entre a tensão e a corrente de alimentação. Especificamente, foram investigados o conteúdo harmônico gerado, a distorção harmônica da corrente de alimentação e o fator de potência dos dispositivos.

Os resultados obtidos nestes ensaios serão utilizados como subsídios para as análises apresentadas nos próximos capítulos.

CAPÍTULO V

EFEITO DAS FREQUÊNCIAS HARMÔNICAS NO SISTEMA ELÉTRICO

5.1 - Introdução

Os dispositivos eficientes, ensaiados no Capítulo IV, realmente são economizadores de energia, mas, em contrapartida, distorcem a forma de onda da corrente e tensão provocando efeitos adversos no sistema de energia tanto pelo lado da oferta como pelo lado da demanda.

Portanto, neste capítulo será mostrado o efeito das harmônicas no sistema elétrico, ou seja, o dano causado aos componentes elétricos com a instalação das cargas não-lineares.

Inicialmente são apresentados alguns conceitos utilizados no contexto da Qualidade da Energia Elétrica, são feitas algumas considerações sobre harmônicas e apresenta-se a definição de fator de potência para cargas não-lineares e tensões senoidais. A seguir, é mostrado uma síntese dos efeitos das harmônicas em motores, transformadores, equipamentos eletrônicos, condutores elétricos e aparelhos de medição.

5.2 – Considerações Gerais

A metodologia de análise de sinais periódicos não-senoidais, no domínio da frequência, originou-se a partir do trabalho apresentado pelo matemático francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), em 1822. O teorema formulado por Fourier estabelece que qualquer função contínua e periódica, em um período T , pode ser representada por um somatório de componentes senoidais. Estas componentes senoidais são constituídas de uma componente com a mesma frequência do sinal periódico, normalmente denominada de **FUNDAMENTAL** e de outras componentes com frequências múltiplas da componente fundamental, denominadas **HARMÔNICAS**.

O surgimento de harmônicos em um sistema provoca distorções na forma de onda da tensão ou da corrente em relação à onda fundamental. Estas, por sua vez, podem ser analisadas matematicamente, através do teorema postulado por **FOURIER**. Desta forma a análise

harmônica é um processo de cálculo através do qual são obtidas as magnitudes e fases da componente fundamental e das componentes harmônicas.

Um exemplo de composição de uma onda não-senoidal periódica, através dos seus componentes harmônicos é ilustrado na Figura 5.1.

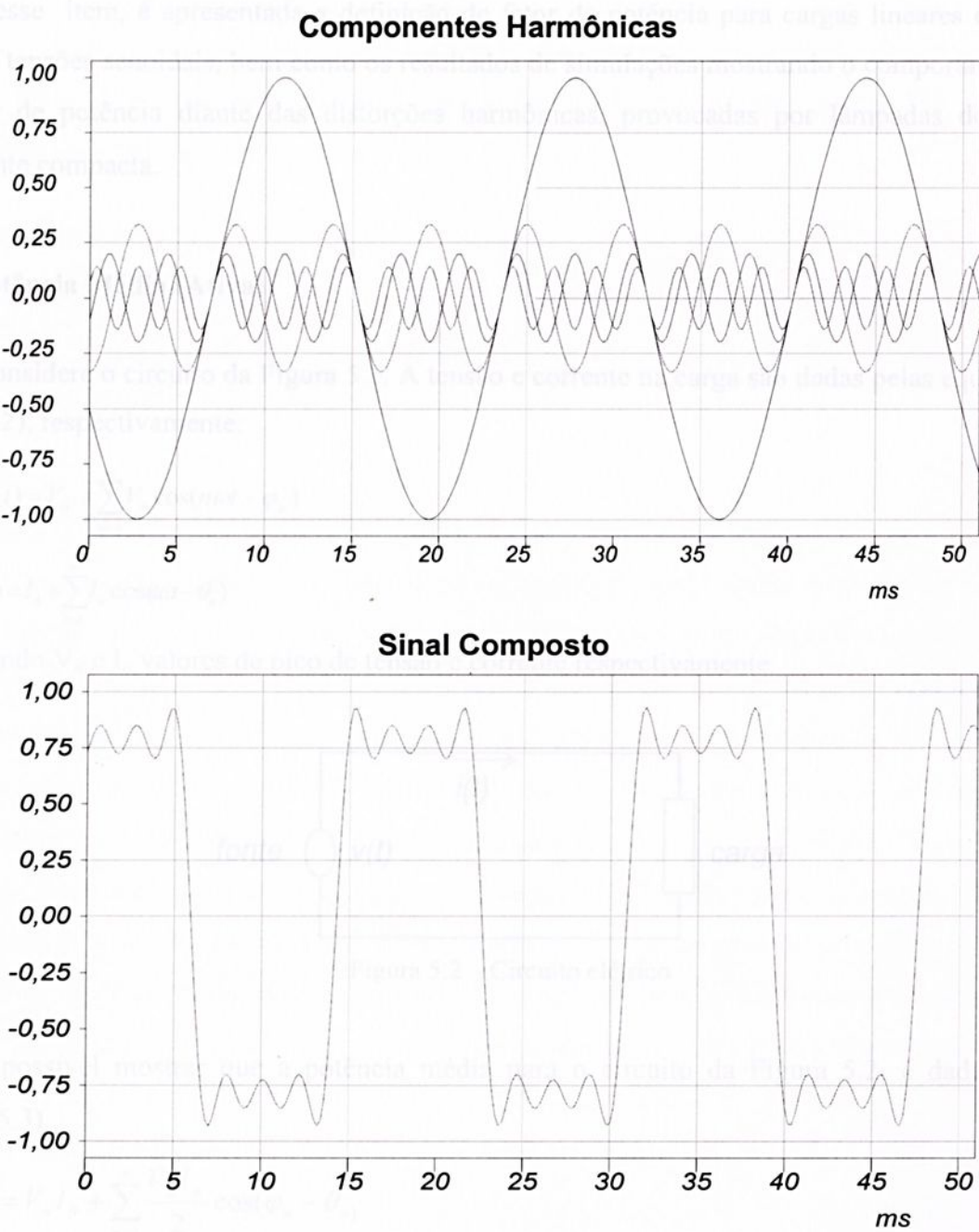


Figura 5.1 - Decomposição harmônica

A grande vantagem da utilização desta técnica matemática é que, para sistemas lineares, cada componente harmônica pode ser considerada separadamente e a distorção final determinada pela superposição das várias componentes constituintes do sinal distorcido. Desta forma, os sistemas elétricos sujeitos a alimentação não-senoidal podem ser tratados considerando

individualmente o efeito de cada componentes harmônica utilizando-se das técnicas mencionadas.

5.3 - Fator de Potência para Cargas Não-Lineares

Nesse item, é apresentada a definição de fator de potência para cargas lineares e não-lineares e tensões senoidais, bem como os resultados de simulações mostrando o comportamento do fator de potência diante das distorções harmônicas, provocadas por lâmpadas do tipo fluorescente compacta.

5.3.1 - Potência Média (Ativa)

Considere o circuito da Figura 5.2. A tensão e corrente na carga são dadas pelas equações (5.1) e (5.2), respectivamente:

$$v(t) = V_o + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega t - \varphi_n) \quad (5.1)$$

$$i(t) = I_o + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega t - \theta_n) \quad (5.2)$$

Sendo V_n e I_n valores de pico de tensão e corrente respectivamente.

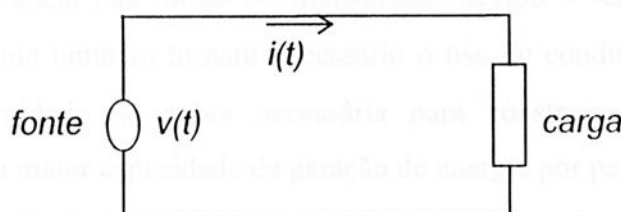


Figura 5.2 – Circuito elétrico

É possível mostrar que a potência média para o circuito da Figura 5.2, é dada pela equação (5.3).

$$P = V_o I_o + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{V_n I_n}{2} \cos(\varphi_n - \theta_n) \quad (5.3)$$

Dessa forma, a energia é transmitida para a carga somente se as componentes harmônicas de $v(t)$ e $i(t)$ contêm termos de mesma frequência. Por exemplo, se a tensão e a corrente possuem

termos de terceira harmônica, então estes termos resultarão em potência média conforme equação (5.4)

$$P_3 = \frac{V_3 I_3}{2} \cos(\varphi_3 - \theta_3) \quad (5.4)$$

5.3.2 - Valor Eficaz de uma Onda

O valor eficaz de uma forma de onda de tensão e corrente em termos de suas componentes harmônicas é dado pela expressões (5.5) e (5.6) :

$$TensãoEficaz = \sqrt{V_o^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{V_n^2}{2}} \quad (5.5)$$

$$CorrenteEficaz = \sqrt{I_o^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{I_n^2}{2}} \quad (5.6)$$

Observe das equações (5.5) e (5.6) que as componentes harmônicas aumentam o valor eficaz da tensão e da corrente sem necessariamente aumentar o valor médio.

O projeto de qualquer sistema de transmissão de energia é muito sensível à intensidade da corrente nas linhas, que dependem das cargas ligadas ao sistema. Correntes mais altas resultam em maiores perdas de potência nas linhas de transmissão devido à resistência das mesmas. Valores elevados de corrente também tornam necessário o uso de condutores de grande seção reta, aumentando a quantidade de cobre necessária para construir a linha; além disso, obviamente, implicam uma maior capacidade de geração de energia por parte da concessionária.

Existe portanto um grande interesse em limitar a corrente ao mínimo necessário. Como a tensão nas linhas de um sistema de transmissão é considerada praticamente constante, a potência aparente é diretamente proporcional à corrente. Assim, quanto menor a potência aparente, menor a corrente na linha. Esta corrente é mínima sempre que a potência aparente (S) for igual a potência ativa (P) e a potência reativa (Q) for igual a zero, o que corresponde à tensão estar em fase com a corrente.

5.3.3 - Fator de Potência

Para uma eficiente transmissão de energia da fonte para a carga, é desejável maximizar a potência média, com a minimização dos valores eficazes de tensão e corrente e, portanto, minimizando as perdas.

O fator de potência (FP) é uma figura de mérito que avalia o quão eficiente é a transmissão de energia elétrica. O FP é definido como:

$$FP = \frac{\text{Potência Média}}{(\text{Tensão Eficaz}) \cdot (\text{Corrente Eficaz})} \quad (5.7)$$

No caso de cargas resistivas lineares e tensões não-senoidais, as harmônicas de corrente estarão em fase e com amplitude proporcional às harmônicas de tensão. Portanto, todas as harmônica contribuirão para a energia transmitida à carga, e o FP será unitário. A equação (5.8) representa o FP para esta situação.

$$FP = \cos(\varphi_n - \theta_n) \quad (5.8)$$

Em que: φ_n - ângulo da tensão;

θ_n - ângulo da corrente.

Para o caso em que a carga é não-linear, caso típico das lâmpadas fluorescentes compactas, e a tensão é senoidal, as harmônicas de corrente não contribuem para a potência média. Entretanto, as correntes harmônicas aumentam o valor eficaz da corrente, e, portanto, reduzem o fator de potência. A expressão (5.9) mostra o cálculo do fator de potência para situações deste tipo.

$$FP = \left(\frac{\frac{I_1}{\sqrt{2}}}{\sqrt{I_o^2 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}} \right) \cdot (\cos(\varphi_1 - \theta_1)) \quad (5.9)$$

Definindo o Fator de Distorção (FD) e a Taxa de Distorção Harmônica de corrente (THD_i) como equações (5.10) e (5.11), respectivamente, temos:

$$FD = \left(\frac{\frac{I_1}{\sqrt{2}}}{\sqrt{I_o^2 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}} \right) \quad (5.10)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$
 (5.11)

A equação (5.10) pode também ser definida como função da THD de corrente, conforme equação (5.12).

$$FD = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_i)^2}}$$
 (5.12)

Designando “Fator de Deslocamento” o termo “ $\cos(\varphi_1 - \theta_1)$ ”, tem-se que:

Fator de Potência = Fator de Distorção x Fator de Deslocamento. Ou,

$$FP = \frac{\cos(\varphi_1 - \theta_1)}{\sqrt{1 + (THD_i)^2}}$$
 (5.13)

5.3.4 – Perdas de acordo com o Fator de Potência

Para chegar ao gráfico da Figura 5.3, foi conectado um motor ao sistema de potência. Enquanto era assegurado potência ativa e tensão constante, variava-se o fator de potência de deslocamento do motor. Em seguida, o motor foi substituído por uma carga não-linear com a mesma potência ativa, e adotado o mesmo procedimento, ou seja, variava-se o fator de potência de deslocamento e computava-se o impacto em perdas do sistema. As perdas incorridas enquanto é entregue potência ao motor são $I_{rms}^2 R$. A variação em perdas é mostrada na Figura 5.3, onde é visto que o fator de potência de deslocamento afeta grandemente as perdas e que a THD_i tem um impacto significativo na eficiência do sistema, sendo esta consideravelmente menor para carga não-linear conectada ao sistema.

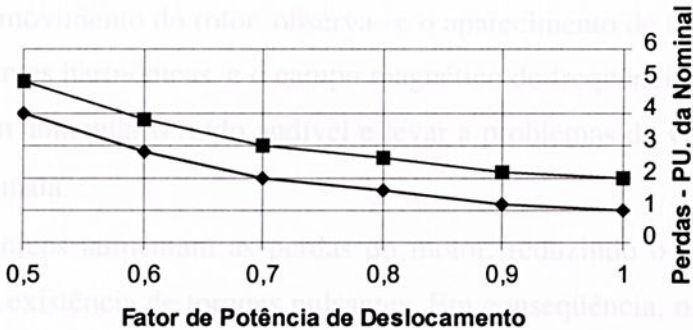


Figura 5.3: Efeitos do Fator de Potência de Deslocamento nas Perdas do Sistema de Potência para Carga Linear (—) e Não-Linear (- - -)

5.4 - Efeitos das Harmônicas em Componentes do Sistema Elétrico

O baixo Fator de Potência (FP) e a alta Taxa de Distorção Harmônica (THD) implicam em algumas desvantagens, como por exemplo:

- A máxima Potência Ativa da rede é fortemente afetada pelo FP;
- As harmônicas de corrente exigem um sobredimensionamento das instalações elétricas e dos transformadores, além de aumentar as perdas (efeito pelicular);
- A componente de 3ª harmônica pode elevar a corrente de neutro;
- Funcionamento inadequado dos equipamentos ligados à rede.

O grau com que as harmônicas podem ser toleradas em um sistema de alimentação depende da susceptibilidade da carga (ou da fonte de potência). Os equipamentos menos sensíveis, geralmente, são os de aquecimento (carga resistiva), para os quais a forma de onda não é relevante. Os mais sensíveis são aqueles que, em seu projeto, assumem a existência de uma alimentação senoidal, como por exemplo, equipamentos de comunicação e processamento de dados. No entanto, mesmo para as cargas de baixa susceptibilidade, a presença de harmônicas (de tensão ou de corrente) podem ser prejudiciais, produzindo maiores esforços nos componentes e isolantes. O texto a seguir discorre sobre os efeitos decorrentes das freqüências harmônicas em componentes do sistema elétrico.

5.4.1 - Influência dos Harmônicos na Operação dos Motores Elétricos

O efeito mais sério criado pelos harmônicos nas máquinas elétricas de corrente alternada (indução e síncrona) é o sobreaquecimento causado pelo aumento das perdas no ferro e no cobre.

Nos motores, os harmônicos de ordem 5, 11, 17, 23, etc. produzem componentes do campo magnético que giram em sentido contrário ao movimento do rotor, e os de ordem 7, 13, 19, etc. contribuem com o movimento do rotor, observa-se o aparecimento de torques oscilatórios devido a interação de correntes harmônicas e o campo magnético de freqüência fundamental. Os torques de oscilação podem aumentar o ruído audível e levar a problemas de vibração mecânica para o motor e a carga acionada.

Portanto, os harmônicos aumentam as perdas do motor, reduzindo o torque disponível para a carga e provocam a existência de torques pulsantes. Em conseqüência, o motor apresenta aquecimento, vibração e redução de sua eficiência. Os harmônicos podem ainda ocasionar redução da vida útil, pela danificação dos rolamentos, fadiga no eixo ou deterioração do sistema de isolamento.



A redução na eficiência é indicada na literatura [01] como de 5 a 10% dos valores obtidos com uma alimentação senoidal. Este fato não se aplica a máquinas projetadas para alimentação a partir de inversores, somente àquelas de uso em alimentação direta da rede.

O sobreaquecimento que pode ser tolerado, depende do tipo de rotor utilizado. Rotores bobinados são mais seriamente afetados do que os de gaiola. Os de gaiola profunda, por causa do efeito pelicular, produzem maior elevação de temperatura do que os de gaiola convencional.

Os motores de alto rendimento suportam mais facilmente os efeitos prejudiciais dos harmônicos por apresentarem uma maior margem térmica e menores perdas.

5.4.2 - Transformadores

A influência dos harmônicos no transformador se manifestam das seguintes maneiras:

5.4.2.1 - Perdas no Núcleo

O aumento das perdas no núcleo depende das ordens e das amplitudes harmônicas das tensões de alimentação, bem como do tipo de material e laminação empregado no núcleo.

As perdas por correntes parasitas possuem uma relação direta com as taxas de variação do fluxo magnético. O conteúdo harmônico deste fluxo magnético está, por sua vez, diretamente relacionado com a distorção harmônica presente nas tensões aplicadas ao transformador. Para a maioria das situações reais, a distorção harmônica é pouco significativa e sua influência é praticamente desprezível. Além disto, para os harmônicos de mais altas ordens, a reação causada pelas correntes parasitas fazem com que a indução magnética não seja uniforme, apresentando-se menor no centro das lâminas de aço ([21], [22]). Isto implica em um efeito ainda menor das correntes harmônicas induzidas sobre as perdas por correntes parasitas no núcleo. Desta forma, estas perdas tendem a permanecer praticamente inalteradas, para níveis de distorção harmônica na tensão considerados aceitáveis.

A perda por histerese está relacionada com a energia necessária para orientar os domínios magnéticos. A distorção harmônica de tensão e, conseqüentemente, do fluxo magnético, normalmente exerce pequena influência no comportamento das perdas por histerese devido principalmente às suas baixas amplitudes ([21], [22], [14]). Os níveis de distorção encontrados na maioria dos casos práticos são tais que não provocam o aparecimento de ciclos de histerese secundários e, nestas condições, estas perdas são dadas apenas pela área do ciclo de histerese principal.



De um modo geral, as perdas no núcleo devido à presença de frequências harmônicas são pouco significativas quando comparadas com as perdas no cobre.

5.4.2.2 - Perdas no cobre

As perdas no cobre em um transformador de potência operando sob condições normais situam-se, em geral, entre 0,5% à 12% de sua potência nominal. Todavia, quando o transformador está suprindo cargas não-lineares, tal fato pode não ser verdadeiro, devido ao expressivo conteúdo harmônico das correntes que circulam pelos enrolamentos.

É conhecido, conforme as referências [10] e [20], que o valor da resistência elétrica dos enrolamentos à 60 Hz, não é bem representativa dos valores de operação para frequências superiores, principalmente nos transformadores que possuem condutores de grande seção. Tal fato decorre do expressivo efeito pelicular, devido ao fluxo de dispersão sobre os condutores.

As perdas no cobre são freqüentemente consideradas como sendo composta por duas parcelas. Uma representa as perdas na resistência CC dos enrolamentos, a outra representa as perdas suplementares. Esta última é composta, principalmente, pelas perdas magnéticas nas partes metálicas e pelas perdas no cobre, devidas ao fluxo de dispersão ([10], [20]).

Para considerar analiticamente os efeitos das correntes não-senoidais nas perdas no cobre adota-se que as perdas por correntes parasitas nos enrolamentos é proporcional ao quadrado da frequência ([03], [10], [20]).

5.4.2.3 - Aquecimentos localizados

O aumento das perdas joule nos transformadores sob dupla excitação foi enfocado até o momento de uma forma simplificada e admitindo que estas se distribuem uniformemente ao longo dos enrolamentos. Entretanto, quanto à avaliação da perda de vida útil dos transformadores é de fundamental importância o conhecimento dos aspectos relativos à elevação de temperatura em regiões localizadas ao longo dos seus enrolamentos. Em transformadores de potência, a região do ponto mais quente está localizada normalmente na extremidade superior dos enrolamentos. Nesta região, a temperatura do óleo é mais elevada e as perdas suplementares específicas (W/m^3) são substancialmente maiores. Isto decorre do fato de que as espiras (ou bobinas) situadas nas extremidades dos enrolamentos estão sujeitas a campos radiais mais intensos ([15], [11]). A Figura 5.4 ilustra uma distribuição típica dos campos axiais e radiais ao longo do enrolamento de um transformador de potência.

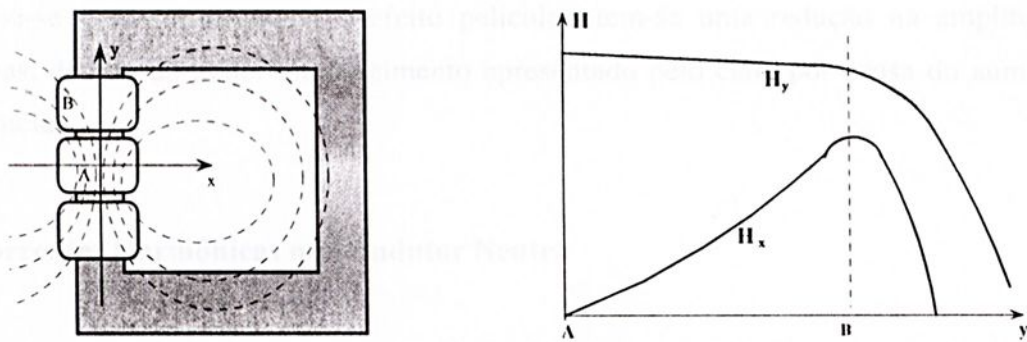


Figura 5.4 - Distribuição dos campos magnéticos de dispersão ao longo do enrolamento.
(A – centro da bobina; B- extremidade da bobina)

Dessa forma, as correntes parasitas que circulam pela massa dos condutores situados nas extremidades dos enrolamentos são substancialmente maiores que nas demais partes, e fazem com que as perdas suplementares que se desenvolvem nos condutores situados naquela região sejam conseqüentemente maiores. O conhecimento das perdas suplementares específicas na região do ponto mais quente é, sem dúvida, de grande importância para a avaliação do risco de superaquecimento e a conseqüente depreciação da vida útil, sobretudo na presença de correntes harmônicas. Em certas situações, embora as perdas totais nos enrolamentos possam ser pouco afetadas pela distorção de corrente, as perdas locais na região do ponto mais quente poderão ser suficientemente altas para provocar o envelhecimento do isolamento ([11], [18]).

O superaquecimento localizado se deve fundamentalmente ao aumento da temperatura nos enrolamentos. O aumento de temperatura das partes metálicas do transformador tem uma importância secundária.

5.4.3 - Cabos de Alimentação

O efeito pelicular restringe a seção condutora para componentes de frequência elevada. Também, nos cabos de alimentação, há um aumento de perdas, devido às harmônicas de corrente. Além disso, tem-se o chamado “efeito de proximidade”, o qual relaciona um aumento na resistência do condutor em função do efeito dos campos magnéticos produzidos pelos demais condutores colocados nas adjacências, além do que, caso os cabos sejam longos e os sistemas conectados tenham suas ressonâncias excitadas pelas componentes harmônicas, podem aparecer elevadas sobretensões ao longo da linha, podendo danificar o cabo.

Sabe-se que, considerando o efeito pelicular, tem-se uma redução na amplitude das ressonâncias, devido ao maior amortecimento apresentado pelo cabo por causa do aumento de sua resistência.

5.4.4 – Correntes Harmônicas no Condutor Neutro

De modo geral, as correntes elétricas distorcidas em um sistema trifásico podem ser representadas genericamente por:

$$\begin{aligned} i_a &= \sum_{n=1}^{\infty} I_{an} \sin[n(\omega t + \phi_a) + \alpha_n] \\ i_b &= \sum_{n=1}^{\infty} I_{bn} \sin[n(\omega t + \phi_b) + \beta_n] \\ i_c &= \sum_{n=1}^{\infty} I_{cn} \sin[n(\omega t + \phi_c) + \lambda_n] \end{aligned} \quad (5.14)$$

Para o caso particular de sistemas elétricos com alimentação equilibrada e corrente simétricas, tem-se;

$$\alpha_n = \beta_n = \lambda_n = \theta_n \quad \phi_a = 0; \quad \phi_b = -2\pi/3; \quad \phi_c = 2\pi/3 \quad (5.15)$$

Nestas condições as componentes fundamentais da corrente passam a ser dadas por:

$$\begin{aligned} i_{a1} &= \hat{I}_1 \sin(\omega t + \theta_1) \\ i_{b1} &= \hat{I}_1 \sin(\omega t + \theta_1 - 2\pi/3) \\ i_{c1} &= \hat{I}_1 \sin(\omega t + \theta_1 + 2\pi/3) \end{aligned} \quad (5.16)$$

Neste caso, observa-se que as componentes fundamentais formam um sistema trifásico de sequência de fase positiva (ou direta). Este fato também se repete para as harmônicas de ordem 4, 7, 10, etc. Entretanto, para as harmônicas de ordem 2, 5, 8, 11, etc., o sistema trifásico resultante possui sequência negativa, como pode ser constatado para a 2ª harmônica através das expressões (5.15).

$$\begin{aligned} i_{a2}(t) &= \hat{I}_2 \sin(2\omega t + \theta_2) \\ i_{b2}(t) &= \hat{I}_2 \sin(2\omega t + \theta_2 + 2\pi/3) \\ i_{c2}(t) &= \hat{I}_2 \sin(2\omega t + \theta_2 - 2\pi/3) \end{aligned} \quad (5.17)$$

5.4.4. As correntes de ordens harmônicas múltipla de 3, formam sistemas trifásicos de seqüência zero, conforme apresentado nas expressões 5.18, para a 3ª harmônica.

$$\begin{aligned}i_{a3}(t) &= \hat{I}_3 \text{sen}(3\omega t + \theta_3) \\i_{b3}(t) &= \hat{I}_3 \text{sen}(3\omega t + \theta_3) \\i_{c3}(t) &= \hat{I}_3 \text{sen}(3\omega t + \theta_3)\end{aligned}$$

(5.18)

Embora o desenvolvimento anterior tenha sido realizado considerando correntes elétricas não-senoidais simétricas, o mesmo pode ser feito com as tensões, o que leva a resultado físicos idênticos.

Resumidamente, para sistemas trifásicos equilibrados, as diferentes componentes harmônicas constituem sistemas trifásicos cuja distribuição seqüencial se processa conforme ilustra a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Distribuição seqüencial dos componentes harmônicos

SEQUÊNCIA	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª	13ª	14ª	15ª
SEQ +	✓			✓			✓			✓			✓		
SEQ -		✓			✓			✓			✓			✓	
SEQ 0			✓			✓			✓			✓			✓

5.4.4.1 - Harmônicas “Triplens”

Harmônicas “triplens” são as múltiplas ímpar da 3ª harmônica (h = 3, 9, 15, 21, ...). Elas merecem atenção especial porque a resposta do sistema é diferente para estas harmônicas do que para as demais. Nos sistemas trifásicos a quatro fios com cargas monofásicas não-lineares, ainda que perfeitamente equilibradas, as harmônicas “triplens” tornam-se um assunto importante devido a composição das correntes no condutor neutro. São basicamente dois os problemas típicos: sobrecarga do neutro e interferência telefônica.

Ocasionalmente, podem ocorrer falhas de operação em dispositivos sensíveis à forma de onda da tensão fase-neutro. As componentes da corrente fundamental e demais harmônicas somam-se zero no neutro, mas cada componente harmônica múltipla ímpar de três apresenta amplitude três vezes maior que sua correspondente nas fases. Nestas condições, as tensões fase-neutro podem apresentar-se fortemente distorcidas devido as quedas de tensão provocadas pelas harmônicas “triplens” no condutor neutro.



5.4.4.2 - Dimensionamento do Condutor Neutro

Num sistema trifásico a forma de onda da tensão fase-neutro é deslocado 120° , de forma que, quando as fases estão igualmente carregadas com cargas lineares, a corrente resultante no condutor neutro é zero. Quando as cargas lineares não estão equilibradas apenas a corrente de desequilíbrio da rede flui no neutro. Os projetistas, baseados em normas e recomendações, tem tirado proveito deste fato, e, por razões econômicas, dimensionam condutores neutros com até metade da bitola das fases. Porém, em situações equilibradas e não-lineares, não ocorre o cancelamento total das correntes no neutro. Como visto, as ordens harmônicas múltiplas ímpar de três vezes a fundamental (“triplens”), possuem seqüência de fase zero e somam-se no neutro.

Estudos recentes mostram casos reais onde as correntes no neutro superam em amplitude as correntes nas fases. Particularmente, cita-se um caso real onde a corrente de neutro era de 150 A, enquanto as correntes de fase eram 100 A. De um modo geral, em sistemas elétricos já implantados, nos quais, gradativamente, vem sendo instaladas cargas não-lineares, a corrente no neutro pode chegar facilmente a duas vezes as correntes de fase e, muitas vezes, o condutor neutro pode estar dimensionado com a metade da bitola das fases.

Como medida de segurança, os condutores neutros, em alimentadores que suprem circuitos com muitas cargas não-lineares, devem ter uma área de seção transversal 200% maior que a seção dos condutores fases. Alguns fabricantes europeus já estão disponibilizando cabos com cinco condutores de mesma seção transversal. Esta configuração facilita a montagem das instalações onde se faz necessário o atendimento da recomendação citada. Para isto, utiliza-se um condutor para cada uma das fases e dois condutores para o neutro.

Nas instalações a quatro fios já implantadas, a alternativa de acrescentar um cabo neutro paralelo separado é menos satisfatória. Como este quinto condutor está fisicamente separado, a indutância mútua entre este e as fases é menor que entre o neutro com as fases integradas. Isto aumenta a impedância do condutor externo que consequentemente deverá conduzir uma parcela menor da corrente total pelos neutros, podendo apresentar alguma sobrecarga. Como garantia, nestes casos, sugere-se a utilização de um cabo neutro paralelo, com o dobro da bitola dos condutores fase.

5.4.4.3 - Resultados Experimentais

O fenômeno citado é ilustrado na Figura 5.5. Para isto, foi adotado um arranjo composto por três lâmpadas compactas eletrônicas de mesma potência e mesmo fabricante, conectadas as fases A , B e C, respectivamente.

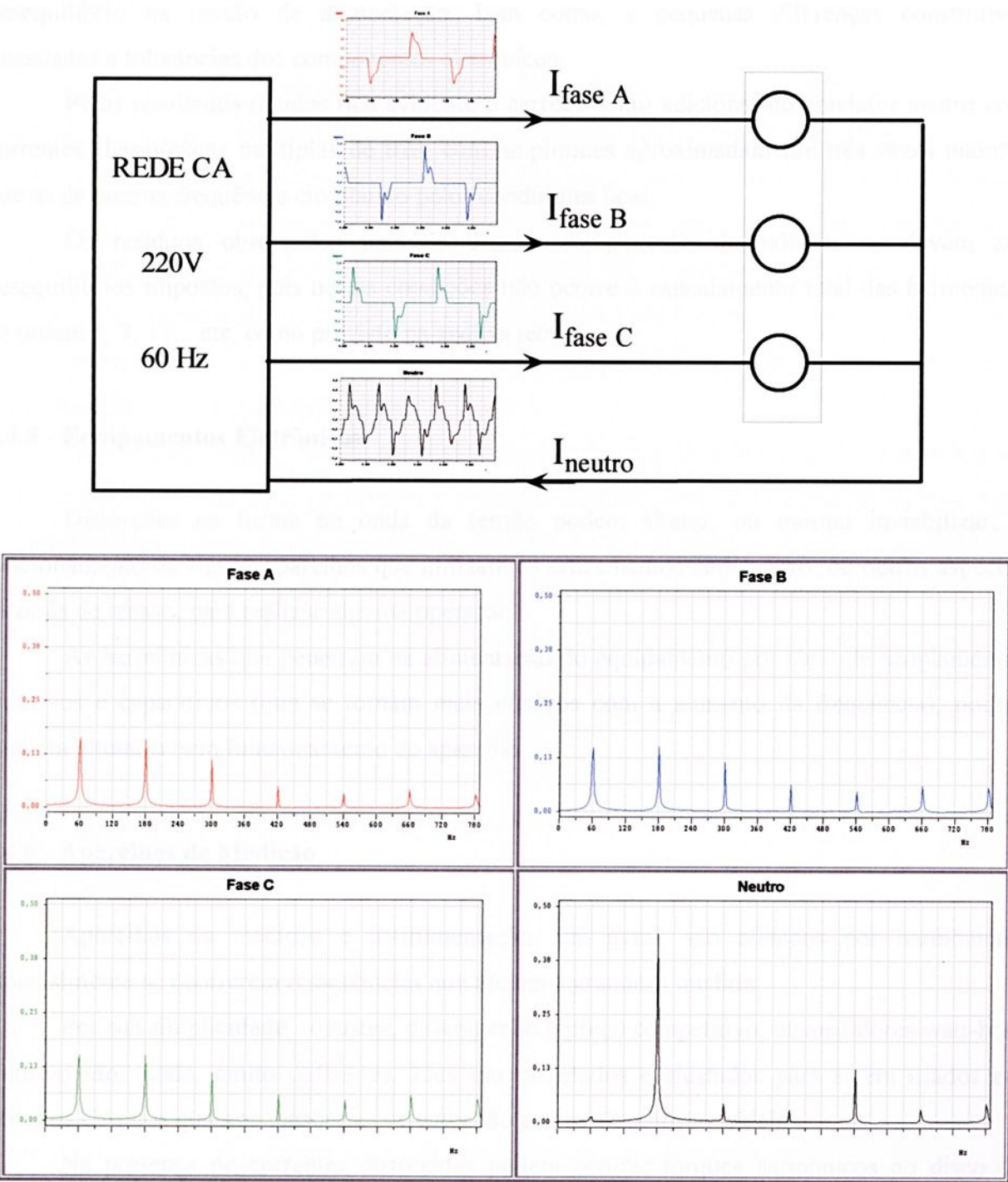


Figura 5.5 – Arranjo experimental, formas de onda e espectros harmônicos das correntes de alimentação e do neutro

Visando a aproximação com situações freqüentemente encontradas nas instalações elétricas em geral, admitiu-se um sistema trifásico com um pequeno desequilíbrio nas amplitudes das tensões fase-neutro, por esse motivo, na Figura 5.5, constata-se uma ligeira alteração da forma de onda da corrente na fase A em relação as demais.

O conteúdo harmônico ilustrado, é idêntico nas três fases, pois trata-se da mesma carga não-linear por fase. As harmônicas individuais possuem amplitudes diferentes devido ao desequilíbrio na tensão de alimentação, bem como, a pequenas diferenças construtivas associadas a tolerâncias dos componentes eletrônicos.

Pelos resultados obtidos fica evidente o carregamento adicional no condutor neutro com correntes harmônicas múltiplas de três, com amplitudes aproximadamente três vezes maiores que as de mesma freqüência circulando pelos condutores fase.

Os resíduos observados para as demais componentes harmônicas se devem aos desequilíbrios impostos, pois nestas condições não ocorre o cancelamento total das harmônicas de ordem 5, 7, 11,... etc, como previsto na análise teórica.

5.4.5 - Equipamentos Eletrônicos

Distorções na forma de onda da tensão podem alterar, ou mesmo inviabilizar, o funcionamento de alguns aparelhos que utilizam os cruzamentos com o zero, ou outros aspectos da onda de tensão, para realizar alguma operação.

As harmônicas que penetram na alimentação do equipamento por meio de acoplamentos indutivos e capacitivos (que se tornam mais efetivos com a aumento da freqüência), podem também alterar o bom funcionamento do aparelho.

5.4.6 - Aparelhos de Medição

Aparelhos de medição e instrumentação, em geral, são afetados por harmônicas, especialmente se ocorrerem ressonâncias que afetam a grandeza medida.

Por sua simplicidade, robustez, desempenho e preço competitivo, os medidores watt-hora indutivo são, ainda, muito utilizados. Eles são projetados e ajustados para serem usados em circuitos CA, nos quais as tensões e correntes são essencialmente senoidais

Na presença de correntes distorcidas podem ocorrer torques harmônicos no disco de indução tanto no sentido de acelerá-lo, como de freá-lo, passando a efetuar registros incorretos.



Dependendo do tipo de medidor e da harmônica presente, estes erros podem ser positivos ou negativos. Em geral, a distorção deve ser elevada (>20%) para produzir erro significativo.

Os erros apresentados por esses medidores se justificam em função de tais dispositivos serem projetados e aferidos para operarem na frequência da rede (60 Hz).

5.4.7 - Capacitores de Potência

Capacitores são equipamentos capazes de armazenar grandes quantidades de cargas elétricas em pequenos volumes. Sua função básica, quando ligados em paralelo com o sistema, é reduzir ou anular o fluxo de energia reativa injetados nos circuitos de transmissão e distribuição. Os capacitores têm o mesmo efeito que os compensadores, geradores ou motores síncronos sobreexcitados, sendo que nesses, a energia é gerada de forma contínua. Já os capacitores fornecem ao sistema elétrico, quantidades de energia que variam bruscamente, em blocos (cada bloco correspondendo a um estágio do banco), provocando impactos às vezes inconvenientes para o sistema durante o chaveamento dos bancos.

O problema maior, que é o objeto de estudo, é a possibilidade de ocorrência de ressonâncias (excitadas pelas harmônicas), podendo produzir níveis excessivos de corrente e/ou de tensão. Além disso, como a reatância capacitiva diminui com a frequência, tem-se um aumento nas correntes relativas às harmônicas presentes na tensão. As correntes de alta frequência, que encontrarão um caminho de menor impedância pelos capacitores, elevarão as suas perdas ôhmicas. O decorrente aumento no aquecimento do dispositivo encurta a vida útil do capacitor.

De um modo geral, recomenda-se a utilização da expressão (5.19) para se obter uma estimativa do valor das perdas em capacitores sujeitos à alimentação distorcida.

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} C \cdot \tan(\delta) \cdot n \cdot \omega \cdot V_n^2 \tag{5.19}$$

- Em que:
- C – capacitância;
 - $\tan(\delta)$ – fator de perdas;
 - ω - frequência angular;
 - n – ordem harmônica;
 - V_n – valor eficaz da n-ésima harmônica da tensão.

Com relação à solicitação do isolamento, resultados experimentais apresentados nas referências [01] e [02], mostram que os picos de tensão gerados por harmônicos constituem um dos principais fatores no envelhecimento da isolação dos capacitores.

Os altos valores de pico podem aumentar significativamente o fenômeno de efeito corona e descargas parciais, provocando um aumento da temperatura média de operação. Tipicamente, a um aumento de 10% no valor de pico da tensão, resulta em 7% de aumento na temperatura de operação e reduz a vida útil em cerca de 30%.

5.4.7.1 - Ressonância em Capacitores de Potência

O efeito da ressonância é caracterizado pela variação não linear da impedância vista por uma fonte de excitação em função da frequência produzida por esta. Na condição de ressonância, um circuito pode se apresentar como uma impedância muito alta ou muito baixa, dependendo da topologia do circuito. Em consequência da impedância apresentada se esta se apresenta próxima a frequência de ressonância, níveis bastantes altos de tensões e correntes podem ocorrer, sujeitando o sistema elétrico à condições perigosas de operação.

Fisicamente, uma ressonância ocorre à uma frequência particular, quando uma reatância indutiva se iguala numericamente a uma reatância capacitiva adjacente. Se as duas reatâncias, vistas do ponto de injeção da fonte harmônica, estão em série, então uma baixa impedância será observada. Por outro lado, se as duas reatâncias se encontram em paralelo, a impedância efetiva será bastante alta. Se a conexão do circuito é série ou paralela, isto dependerá do ponto de vista do local de injeção do sinal harmônico, assim como, da configuração do sistema e da carga.

5.4.7.1.1 - Ressonância Série

A ressonância série é empregada para projetos de filtros, de forma que um caminho paralelo de baixa impedância seja oferecido para o escoamento das harmônicas.

Para um circuito RLC série valem as seguintes expressões:

- Para uma frequência genérica:

$$Z(f) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (5.20)$$

- Para frequência de ressonância:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (5.21)$$



5.4.7.1.2 - Ressonância Paralela

A ressonância paralela ocorre quando a indutância e a capacitância vistas pela fonte geradora de harmônicos estão conectadas em paralelo.

- Para uma frequência genérica:

$$Z(f) = j\left(\frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC}\right) \tag{5.22}$$

- Para frequência de ressonância (f_0):

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \tag{5.23}$$

Uma situação prática típica que leva a uma ressonância paralela é mostrada na Figura 5.6.a. Utilizando uma representação indutiva-resistiva para o transformador e ignorando a impedância da rede de alimentação, o sistema da Figura 5.6.a pode ser representado pelo modelo do circuito elétrico equivalente da Figura 5.6.b.

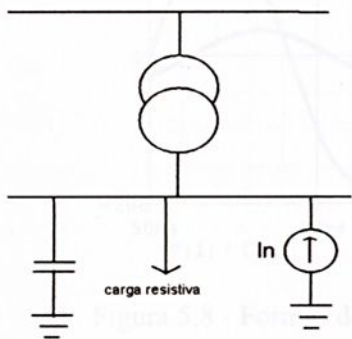


Figura 5.6.a – Arranjo físico do sistema elétrico.

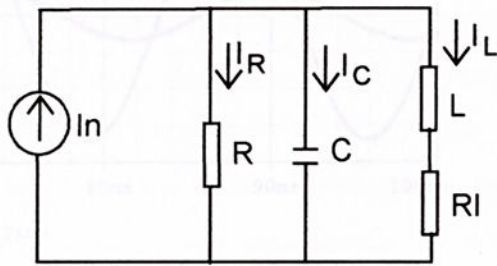


Figura 5.6.b – Circuito equivalente.

A Figura 5.7 mostra um exemplo de correção do fator de potência de uma carga que pode levar à ocorrência de ressonância no sistema. Considere o circuito (a), em que uma carga do tipo RL está sendo alimentada e apresenta um baixo fator de potência. No circuito (b), é inserido um capacitor que corrige o fator de potência, como se observa pela forma de onda da corrente mostrada na Figura 5.9. Observe que agora a fase da corrente se aproximou da fase da tensão, o que não ocorreu na Figura 5.8.

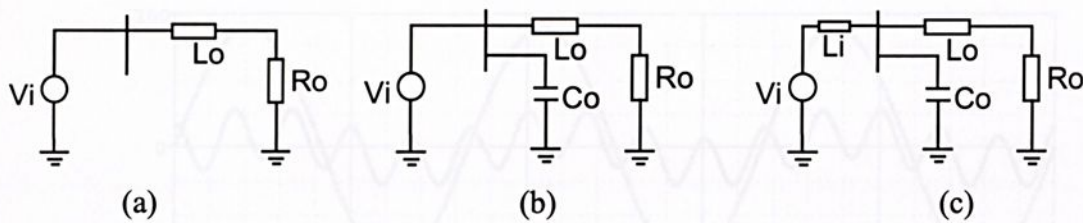


Figura 5.7 - Circuitos equivalentes para análise de ressonância da linha com capacitor de correção do fator de potência

Suponha que o sistema de alimentação possua uma reatância indutiva, a qual interage com o capacitor e produz uma ressonância série (que conduz a um curto-circuito na frequência de sintonia). Caso a tensão de alimentação possua uma componente nesta frequência, esta harmônica será amplificada. Isto é observado na Figura 5.10, considerando a presença de uma componente de tensão de 5ª harmônica, com 3% de amplitude.

Observe a notável amplificação na corrente, o que poderia produzir importantes efeitos sobre o sistema.

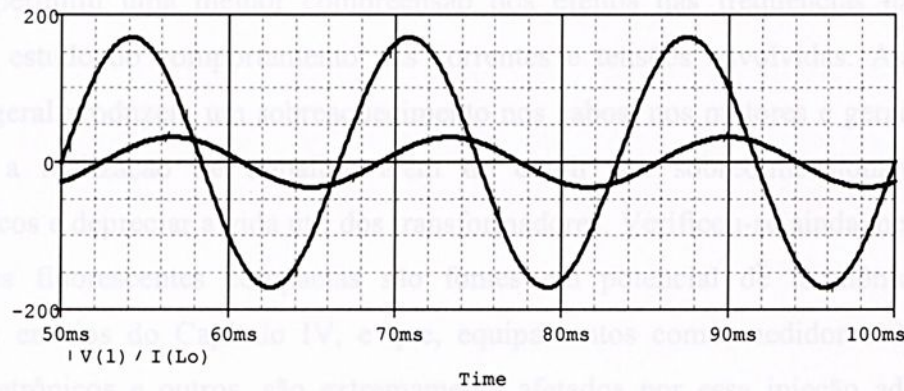


Figura 5.8 - Formas de ondas de tensão relativas ao circuito da Figura 5.7.a

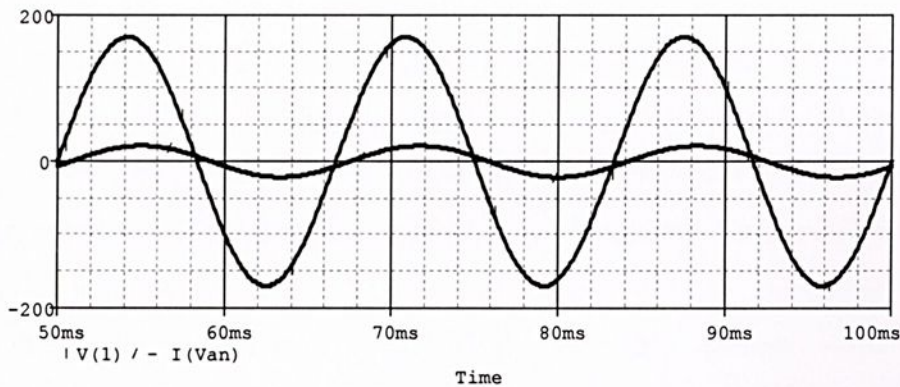


Figura 5.9 - Formas de ondas de tensão relativas ao circuito da Figura 5.7.b

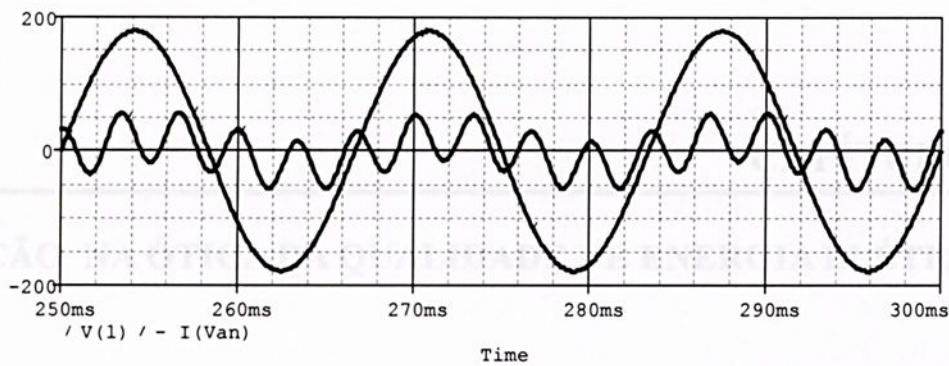


Figura 5.10 - Formas de ondas de tensão relativas ao circuito da Figura 5.7.c

4.6 - Conclusão

Estudou-se nesse capítulo algumas características relacionadas ao sistema elétrico de potência, tais como: definição do fator de potência e os efeitos das harmônicas no mesmo. A análise teórica permitiu uma melhor compreensão dos efeitos das frequências harmônicas, possibilitando o estudo do comportamento das correntes e tensões envolvidas. As correntes harmônicas em geral produzem um sobreaquecimento nos cabos, nos motores e geradores, sem contribuir para a realização de trabalho, além de exigir um sobredimensionamento dos condutores elétricos e depreciar a vida útil dos transformadores. Verificou-se ainda, nesse estudo que as lâmpadas fluorescentes compactas são fontes em potencial de harmônicas, como comprovado nos ensaios do Capítulo IV, e que, equipamentos como medidores de energia, equipamentos eletrônicos e outros, são extremamente afetados por essa injeção adicional de correntes harmônicas, comprometendo as suas características de funcionamento.

CAPÍTULO VI

CONSERVAÇÃO NA ÓTICA DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

6.1. - Introdução

Como visto no Capítulo III deste trabalho, de fato a aplicação de equipamentos baseados na eletrônica de potência podem reduzir o consumo de energia elétrica, pois estes são, em geral, mais eficientes. Foram destacados, naquele capítulo, alguns exemplos envolvendo a utilização de lâmpadas fluorescentes compactas, reatores eletrônicos e de acionamentos a estado sólido para controle de velocidade de motores.

Neste capítulo são novamente abordados alguns dos exemplos citados, agora com ênfase as questões envolvendo os efeitos da aplicação das chamadas tecnologias energeticamente eficientes sobre a qualidade da energia elétrica. São enfocados, particularmente, aspectos relativos a geração de componentes harmônicas e suas influências sobre as instalações tanto pelo lado da oferta como pelo lado da demanda.

6.2. - O Lado da Demanda

No Capítulo III foi analisado, sob o ponto de vista econômico, os principais aspectos envolvendo a substituição de reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos. Os resultados sob aquela ótica mostraram-se animadores na medida em que a economia de energia obtida pela substituição dos reatores proporciona o retorno do capital investido em menos de 5 meses.

Entretanto, a análise apresentada aborda apenas questões de natureza econômica baseadas no consumo de energia ativa. Sob um ponto de vista mais abrangente é necessário considerar inicialmente outros parâmetros relativos a tarifação da energia elétrica, tais como, fator de potência final da instalação e demanda máxima. Por outro lado existem ainda questões associadas a qualidade da energia elétrica, cuja capitalização de custos pode ser relativamente complexa dentro de um contexto econômico, mas que certamente devem ser investigadas no



sentido de garantir os limites toleráveis estabelecidos em normas ou recomendados para o funcionamento adequado da instalação.

Observando-se os resultados experimentais, apresentados na Figura 6.1, destacam-se dois problemas que merecem atenção sob o ponto de vista da qualidade da energia. O primeiro está relacionado com o fator de potência registrado para os reatores eletromagnético e eletrônico, 0,97 e 0,53 respectivamente. Este baixo fator de potência apresentado pelo reator eletrônico se deve fundamentalmente a alta taxa de distorção harmônica da sua corrente de alimentação. Particularmente para o reator eletrônico utilizado nesta análise observa-se que, embora a absorção de potência ativa seja de 88,1W a potência aparente registrada é de 166,3 VA.

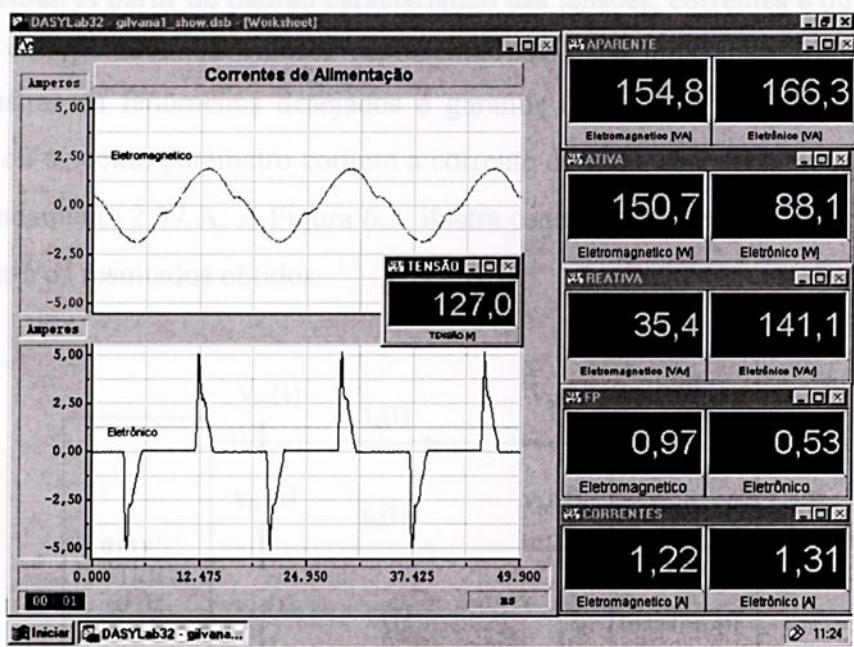


Figura 6.1 – Resultados experimentais para o reator eletromagnético e eletrônico.

Assim, na substituição do reator eletromagnético pelo eletrônico, espera-se um ganho de aproximadamente 62,6W por unidade. Por outro lado, devido ao baixo fator de potência, a potência aparente esperada na substituição dos reatores acaba aumentando em 11,5 VA por unidade. Na análise técnica e econômica apresentada no Capítulo III, foi considerada apenas a potência ativa para composição dos custos operacionais e conseqüentemente as conclusões relativas a viabilidade econômica do investimento podem ser prejudicadas.

Para o caso de um consumidor residencial ou comercial de pequeno porte, os resultados obtidos nos estudos de viabilidade econômica podem ainda ser considerados satisfatórios, uma vez que a forma de tarifação utilizado para estes consumidores considera apenas a parcela relativa ao consumo de energia. No entanto, em aplicações industriais onde o faturamento da

energia elétrica é baseado na demanda, no consumo, excedentes de demanda e consumo devido baixo fator de potência, é indispensável estudos mais detalhados envolvendo a composição dos custos operacionais e viabilidade econômica.

Um outro aspecto importante a ser avaliado é a influencia dos dispositivos considerados energeticamente eficientes no comportamento dos circuitos elétricos onde os mesmos são inseridos. Para isto, considera-se um alimentador trifásico que se inicia em um quadro de distribuição interno e destina-se a alimentação de um circuito de iluminação. Os resultados apresentados foram obtidos através de ensaios experimentais em lâmpadas incandescentes de 100W e compactas 22W, respectivamente. Admitiu-se um alimentador trifásico com bitola de 4mm² e com 100m de comprimento, o qual foi representado pela sua impedância equivalente no circuito experimental. A partir do padrão característico das tensões, correntes e quedas de tensão medidas foram extrapolados os valores representativos para uma instalação real. Com a finalidade de ilustrar os fenômenos desejados e garantir um padrão de comparação entre os dispositivos adotou-se como parâmetro comum a corrente de linha absorvida pela carga total, no caso de aproximadamente 2,37 A. A Figura 6.2, ilustra esquematicamente a situação analisada e a Tabela 6.1 mostra os resultados obtidos.

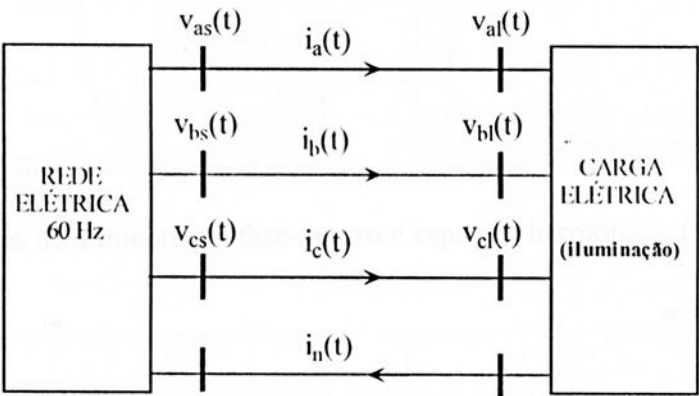


Figura 6.2 – Arranjo simplificado do alimentador estudado

Tabela 6.1 – Resultados experimentais e simulados

Carga	V _{as} (rms) (V)	V _{al} (rms) (V)	THD (V _{as}) (%)	THD (V _{al}) (%)	ΔV (%)	I _a (rms) (A)	I _n (rms) (A)
Lâmpadas Incandescentes	127,5	122,4	1,0	1,7	4,0	2,37	0,07
Lâmpadas Compactas	127,4	113,0	1,2	5,6	11,2	2,35	4,17

(Obs: circuito com 100m de cabos #4mm²)

Verifica-se que, na alimentação de uma carga trifásica de iluminação, composta apenas por lâmpadas incandescentes, os valores de distorção harmônica e quedas de tensão atendem os padrões estabelecidos por normas para distorção harmônica ($THD_v \leq 5\%$) e quedas de tensão percentual ($\Delta V\% \leq 4\%$) ([07], [37]). Os resultados obtidos para a distorção total na tensão de alimentação e regulação de tensão na carga são de 1,7% e 4%, respectivamente. Outro aspecto importante a ser observado é a corrente no condutor neutro. Neste caso, como a carga de iluminação foi distribuída equitativamente entre as fases a corrente no alimentador neutro é praticamente nula. Mesmo com a utilização de uma fonte trifásica programável que garante tensões equilibradas, o pequeno resíduo de corrente observado no condutor neutro se deve aos pequenos desequilíbrios entre as impedâncias do alimentadores e das próprias lâmpadas. As Figuras 6.3 e 6.4 ilustram as formas de onda e espectros harmônicos das tensões e correntes para a condição supra citada

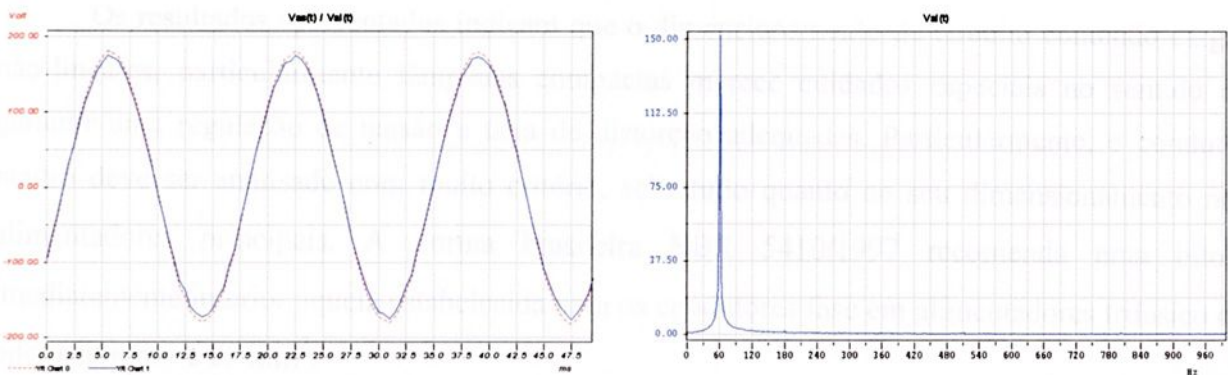


Figura 6.3 –Tensões de alimentação fase-neutro e espectro harmônico. (♦) – Vas (♦) – Val

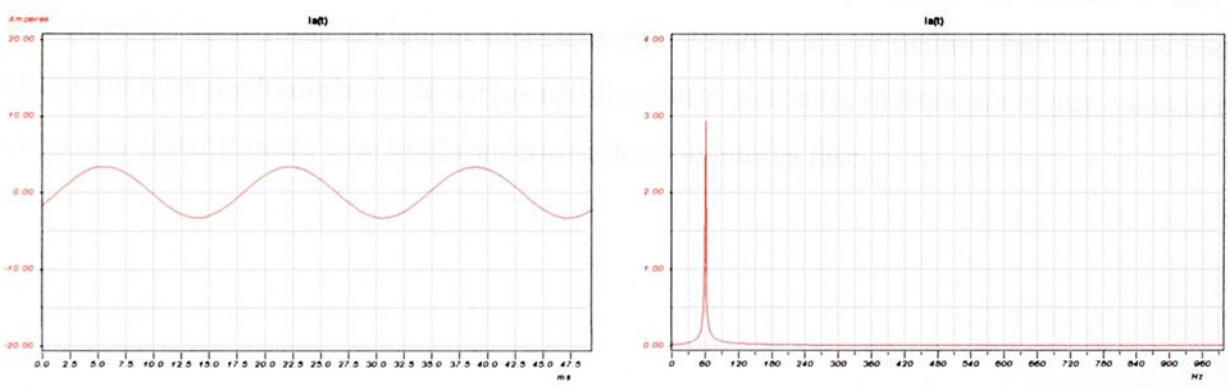


Figura 6.4 –Corrente de alimentação na linha e espectro harmônico da corrente de linha i_a

Considerando o circuito descrito anteriormente suprimido, com a mesma corrente de linha, uma carga de iluminação composta por lâmpadas compactas, observa-se um comportamento substancialmente diferente com respeito a queda de tensão, distorção harmônica e fluxo de

corrente pelo neutro. As altas taxas de distorção harmônica das correntes provocam quedas de tensão acentuadas, sobretudo devido a relação direta dos valores das reatâncias nas linhas com a frequência, ou seja, quanto maior a frequência harmônica maior será a reatância da linha e conseqüentemente maior a queda de tensão produzida nesta frequência específica. Além disso, um outro aspecto de fundamental importância é a corrente de circulação pelo condutor neutro que também contribui para aumento da queda de tensão. Embora a distribuição das lâmpadas compactas por fase tenha sido realizada de forma a manter as correntes de linha equilibradas, a corrente total no neutro não é nula pois, como visto em capítulos anteriores, esta será composta pela soma das harmônicas “triplens”. Particularmente para o caso em análise, o valor rms da corrente no neutro resulta 77% maior que o valor rms das correntes de linha. As formas de onda das tensões terminais, da corrente na fase A e no neutro são apresentadas nas Figuras 6.5, 6.6 e 6.7, respectivamente. A queda de tensão obtida é de 11,2% e portanto totalmente fora dos padrões estabelecidos pelas normas. O mesmo pode ser observado com relação a taxa de distorção harmônica da tensão na carga, para a qual foi registrado um valor de 5,6%.

Os resultados apresentados indicam que o dimensionamento de circuito contendo cargas não-lineares, particularmente lâmpadas compactas merece cuidados especiais no sentido de garantir uma regulação de tensão e taxa de distorção adequadas. Particularmente, o condutor neutro deve ser analisado com muito critério, sobretudo quanto ao seu dimensionamento nos alimentadores principais. A norma brasileira NBR 5410/1997 recomenda uma bitola imediatamente inferior àquela estabelecida para os condutores fase em alimentadores trifásico de bitola superior a 25 mm².

Entretanto, se a instalação em questão possui muitas cargas não-lineares, esta prática é absolutamente equivocada e pode levar a deterioração da qualidade da tensão e até a conseqüências desastrosas devido ao sobreaquecimento do condutor neutro. Para os casos onde existe uma forte predominância de cargas não-lineares é, portanto, indispensável que o condutor neutro seja dimensionado com bitola superior a dos condutores fase.

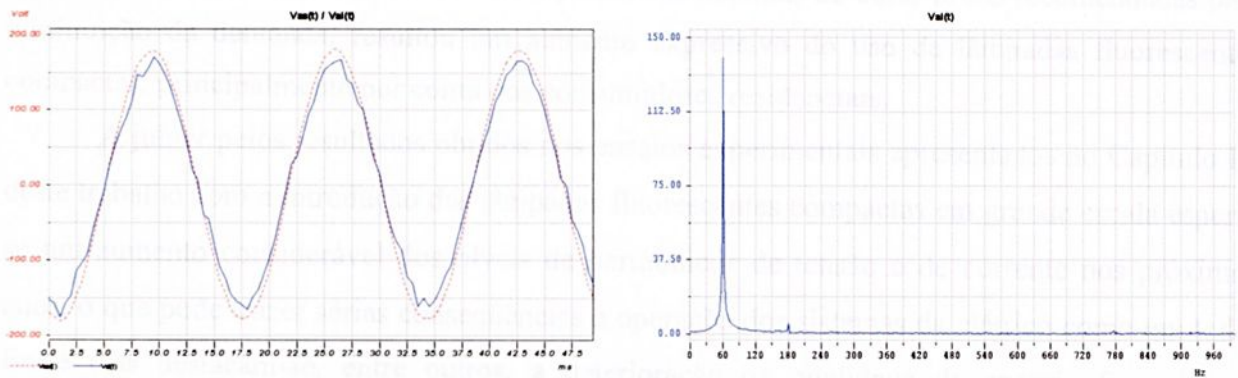


Figura 6.5 –Tensões de alimentação fase-neutro e espectro harmônico. (♦) – Vas (◆) – Val

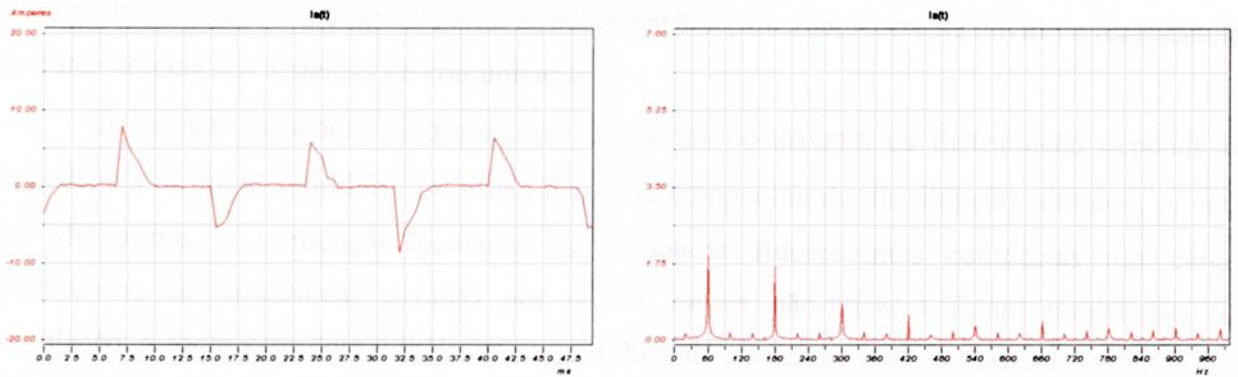


Figura 6.6 –Corrente de alimentação na linha e espectro harmônico da corrente de linha i_a .

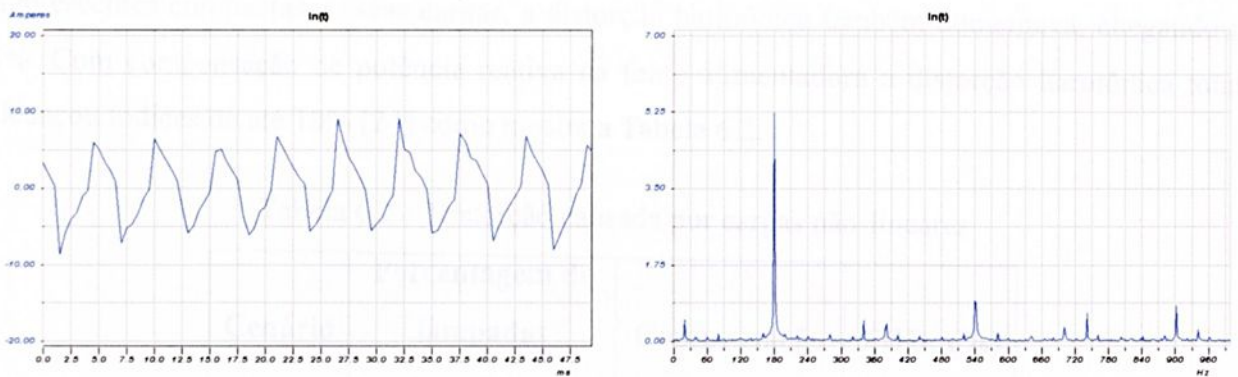


Figura 6.7 –Corrente no neutro e espectro harmônico da corrente no neutro i_n .

6.3 - O Lado da Oferta

A utilização de lâmpadas fluorescentes compactas são o melhor exemplo da nova tecnologia introduzida pelo Gerenciamento do Lado da Demanda (GLD), sendo praticamente uma tendência mundial. Os programas de conservação de energia em fase de implantação por algumas concessionárias incentivam a participação dos consumidores dando descontos nas tarifas de energia e, até subsidiando a aquisição das lâmpadas. Recentemente, como resultado do

agravamento da crise energética no Brasil, frente às medidas de curto prazo recomendadas para diminuição da demanda, resultou um aumento expressivo do uso de lâmpadas fluorescentes compactas, principalmente por conta dos consumidores residenciais.

A julgar pelos resultados obtidos nos ensaios experimentais apresentados no Capítulo IV deste trabalho com a introdução das lâmpadas fluorescentes compactas em grande escala espera-se um aumento considerável dos níveis de harmônicos de tensão e de corrente nos próximos anos, o que pode trazer sérias consequências à operação dos sistemas de elétrico como um todo. Entre elas destacam-se, entre outros, a deterioração da qualidade da energia fornecida, a degradação da vida útil de equipamentos, o funcionamento inadequado da proteção, os erros no sistema de medição da energia elétrica, as sobretensões e/ou sobrecorrente devido a ressonâncias e a interferência nos sistemas de comunicação.

O impacto lâmpadas fluorescentes compactas no sistema de distribuição depende da impedância da fonte supridora. Na Austrália, uma companhia de distribuição, simulou, na área de Melbourne, a introdução paulatina de lâmpadas fluorescentes compactas nas cargas domésticas, as harmônicas geradas por outras cargas não-lineares foram modeladas. Na simulação, a fonte supridora 22kV estava com 80% da sua carga nominal durante o período de pico. Somente os harmônicos resultantes da existência de cargas não-lineares domésticas alcançaram níveis de distorção harmônica de 3,5%. À medida que se acrescentava lâmpadas fluorescentes compactas a essas cargas, a distorção harmônica também aumentava, chegando a 5%. Com compensação de potência reativa na fonte alimentadora a distorção harmônica total alcançou índices de até 10% [24] como mostra a Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Distorção causada por cargas não-lineares

Cenário	Porcentagem de lâmpadas compactas	Compensação	THD _v (%)
A	0	não	3,5 %
B	20 %	não	3,85 %
C	40 %	não	4,2 %
D	60 %	não	4,5 %
E	80 %	não	4,8 %
F	80 %	sim	10,3 %

O estudo revela que programas que incentivam a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas podem levar a níveis excessivos de harmônicos, forçando as companhias de distribuição a instalar equipamentos de redução de harmônicos.

Realizou-se um estudo do impacto causado sobre a qualidade da energia no circuito de distribuição real de uma concessionária brasileira onde foi implantado um programa de conservação de energia, conforme apresentado no Capítulo III deste trabalho.

O estudo apresenta resultados colhidos através de medição das tensões, correntes, taxa de distorção harmônica e fator de potência, antes e após a instalação dos dispositivos eficientes (lâmpadas fluorescentes compactas, controladores de temperatura de chuveiro e controladores de intensidade luminosa - *dimmers*).

As medições foram efetuadas no circuito de distribuição apresentado no Capítulo III. Foram colhidos dados imediatamente na saída do transformador e ao longo do circuito secundário em dois consumidores previamente escolhidos. No barramento secundário do transformador do circuito selecionado (TRAFO 15294-3-75), foi instalado o equipamento “PQNode Plus 8020”, programado para registros com intervalos de 30 minutos.

As unidades consumidoras selecionadas para monitoramento foram os CDC 356884 e CDC 356965. As medições foram realizadas instantaneamente em três dias antes e três dias após a instalação dos equipamentos eficientes, pelo equipamento “FLUKE 43 Power Quality Analyzer”. Os equipamentos utilizados nas medições estão apresentados na Figura 6.8.

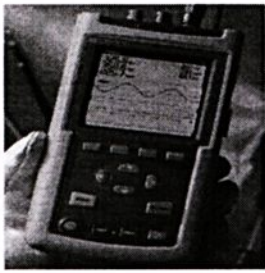
	Equipamento de Medição PQNode Plus 8020 Caracteriza-se como um instrumento robusto, com aplicações na medição de fluxo de potência e na análise da qualidade da energia elétrica. O equipamento possibilita a medição trifásica de tensão, corrente, potência ativa, reativa e aparente, fator de potência, fator de crista, THD e kWh. Permite, ainda, que se realize uma análise trifásica da distorção harmônica, demanda e distúrbios de curta e média duração nas tensões e correntes
	Medidor FLUKE 43 Power Quality Analyzer Classe 0,3% - 40Hz a 70KHz. Caracteriza-se como um instrumento portátil com aplicações na medição de fluxo de potência e na qualidade de energia elétrica. O equipamento possibilita a medição monofásica de tensão, corrente, potência ativa, reativa e aparente, fator de potência, THD e transitórios e surtos de curta duração na tensão e corrente.

Figura 6.8 – Equipamentos utilizados nas medições

O cronograma de medições é apresentado na Tabela 6.3.



Tabela 6.3 – Cronograma de medições

Local	1 Medição (Antes da instalação dos dispositivos eficientes)	2 Medição (Após a instalação dos dispositivos eficientes)
Consumidor 356884	06/10/2000*	24/10/2000*
Consumidor 356965	09/10/2000*	25/10/2000*
Trafo 15294-3-75	02/10/2000 à 16/10/2000	17/10/2000 à 31/10/2000

* Medições realizadas em horário de Pico (18h às 21h).

6.3.1 - Resultados Experimentais

Os resultados experimentais apresentados a seguir ilustram, para cada medição realizada, as formas de onda da tensão, corrente e distorção harmônica, antes e após a instalação dos equipamentos de efficientização energética. Estas medições foram realizadas no barramento secundário do transformador que alimenta o circuito, e em dois consumidores conectados ao circuito selecionado, em datas e horários conforme relacionado na Tabela 6.3. É dado maior enfoque às medições no período de ponta do sistema, pelo fato dos equipamentos eficientes estarem em pleno funcionamento.

Os resultados obtidos nas medições no consumidor CDC 356884, antes e após a implementação dos dispositivos, estão apresentados nas Figuras 6.9, 6.10, 6.11. E os resultados do consumidor CDC 356965, estão nas Figuras 6.12, 6.13, 6.14.

Naturalmente, a poluição harmônica constatada não é causada somente pelas lâmpadas eficientes, mas pelo uso de lâmpadas fluorescentes e ainda outros equipamentos, como computadores, televisores, videocassetes, forno microondas, que também são fontes de harmônicas, como visto no Capítulo IV.

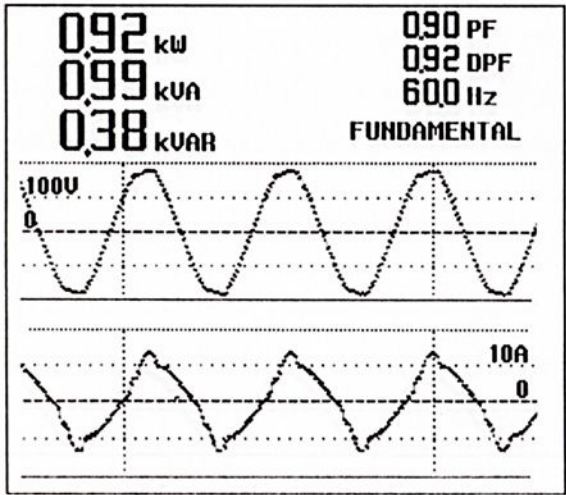
Embora a implementação das lâmpadas fluorescentes compactas sozinhas não levem a uma distorção significativa, mas quando somado à distorção causada pela existência de cargas não-lineares, a distorção total na linha pode alcançar níveis acima das limitações recomendadas pelas normas técnicas.

Pode-se observar, através dos resultados obtidos, que como esperado houve um carregamento adicional de correntes harmônicas nos condutores das instalações dos dois consumidores, devido à implementação dos dispositivos eficientes. O aumento percentual na distorção harmônica de corrente (THDi) do consumidor com CDC 356884 foi de 89,3% e no consumidor CDC 356965 foi de 208,0%, sendo as componentes mais características, nas

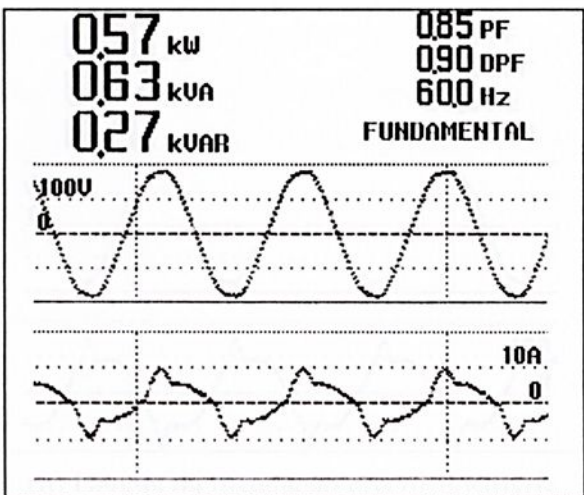


instalações analisadas, as harmônicas de 3ª, 5ª e 7ª ordens. O fator de potência sofreu uma redução, 5,6% no consumidor CDC 356884 e 33,3% no consumidor CDC 356965.

Em uma análise, sob a ótica da concessionária de energia elétrica, constata-se que os altos níveis harmônicos registrados poderão ter conseqüências imprevisíveis sobre o desempenho dos medidores de energia do tipo disco de indução e portanto sobre a energia faturada. Como visto no Capítulo V, tais medidores apresentam erros que dependendo dos ângulos de fase entre as harmônicas poderão levar a faturamentos indevidos da energia elétrica. Os prejuízos se propagam para ambas as partes, consumidores e concessionária, na medida em que a energia fornecida não é cobrada de forma justa segundo os preceitos estabelecidos nos mecanismos de tarifação.

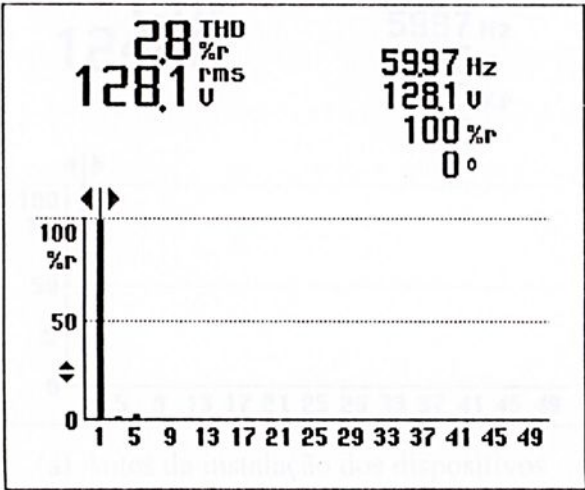


(a) Antes da instalação dos dispositivos

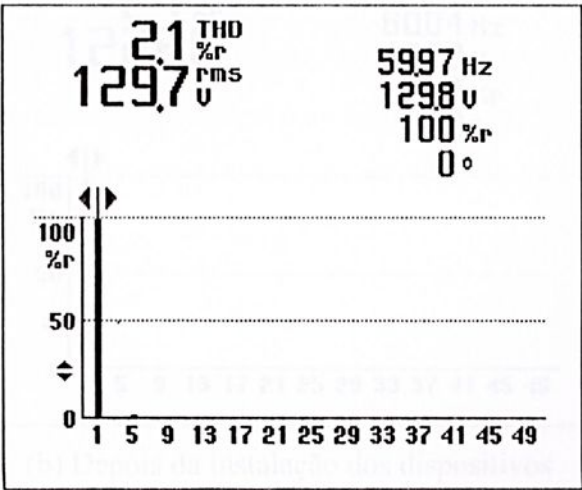


(b) Depois da instalação dos dispositivos

Figura 6.9 – Potência ativa, reativa, aparente e fator de potência, para o CDC 356884.

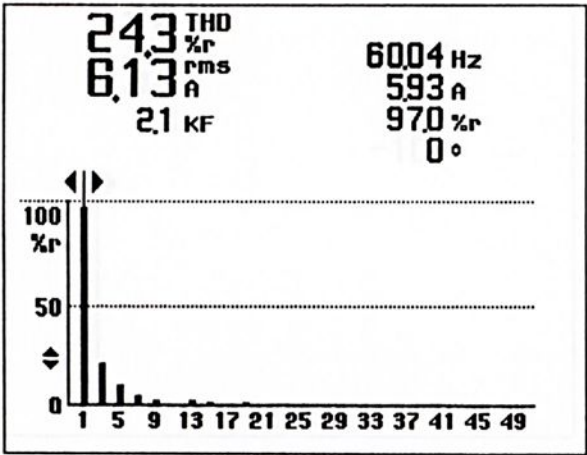


(a) Antes da instalação dos dispositivos

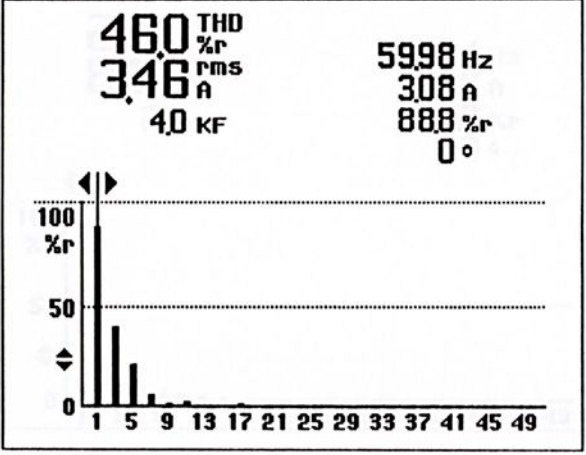


(b) Depois da instalação dos dispositivos

Figura 6.10 – Espectro harmônico da tensão de alimentação no CDC 356884.

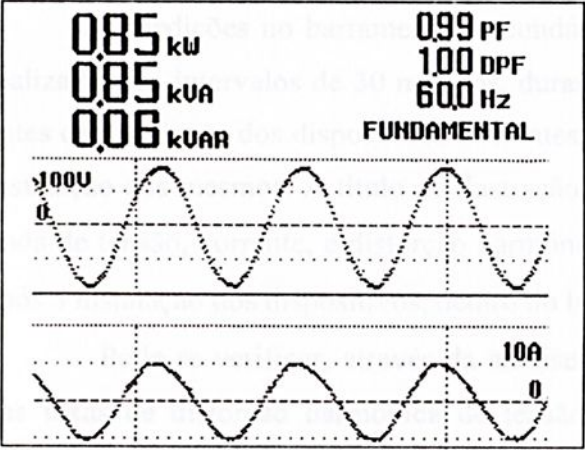


(a) Antes da instalação dos dispositivos

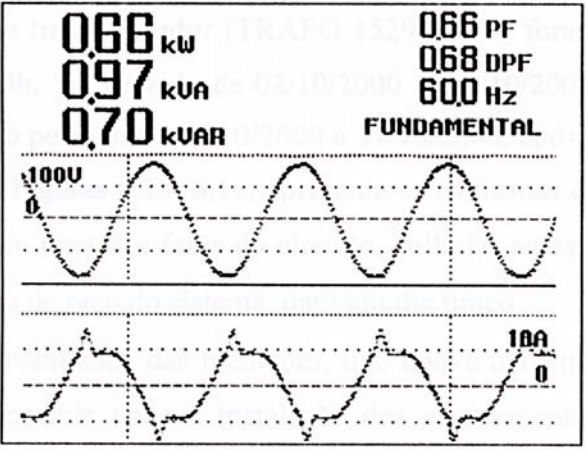


(b) Depois da instalação dos dispositivos

Figura 6.11 – Espectro harmônico da corrente de alimentação no CDC 356884.

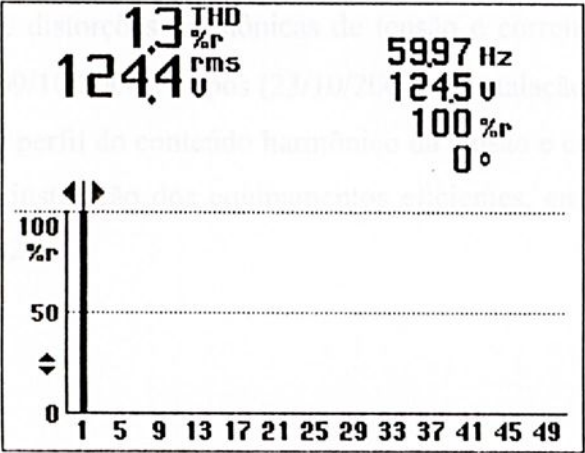


(a) Antes da instalação dos dispositivos

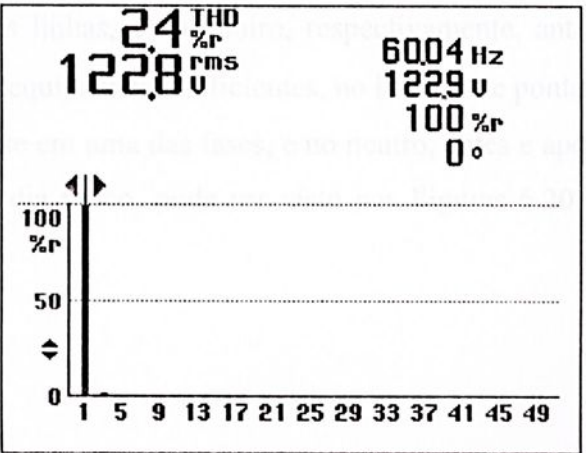


(b) Depois da instalação dos dispositivos

Figura 6.12 – Potência ativa, reativa, aparente e fator de potência, para o CDC 356965.

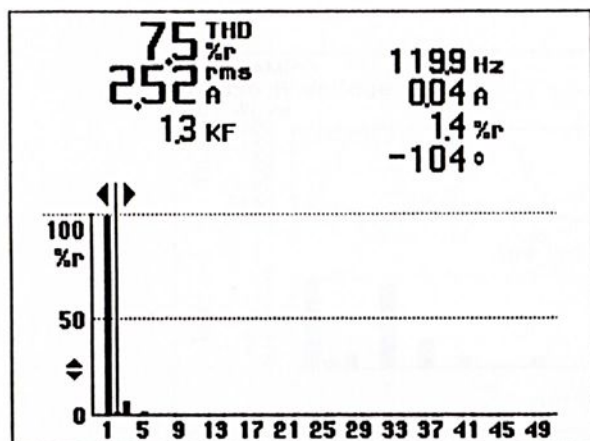


(a) Antes da instalação dos dispositivos

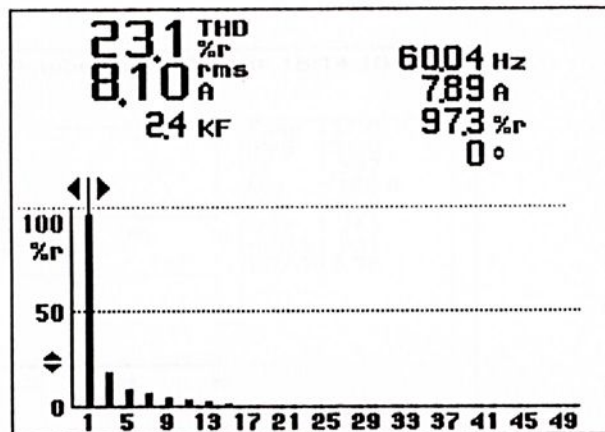


(b) Depois da instalação dos dispositivos

Figura 6.13 – Espectro harmônico da tensão de alimentação no CDC 356965.



(a) Antes da instalação dos dispositivos



(b) Depois da instalação dos dispositivos

Figura 6.14 – Espectro harmônico da corrente de alimentação no CDC 356965.

As medições no barramento secundário do transformador (TRAFO 15294-2-75) foram realizadas em intervalos de 30 minutos, durante 24h, no período de 02/10/2000 à 16/10/2000, antes da instalação dos dispositivos eficientes, e no período de 17/10/2000 à 31/10/2000, após a instalação dos mesmos. A título de ilustração, nas Figuras 6.15, 6.16, apresenta-se as formas de onda de tensão, corrente, e distorção harmônica, em uma das fases do circuito, colhidas antes e após a instalação dos dispositivos, dentro do horário de pico do sistema, para um dia típico.

Pode-se verificar, através da análise dos resultados das medições, que houve aumento das taxas de distorção harmônica de tensão e corrente após a instalação dos equipamentos eficientes, e que essa diferença é mais acentuada nos horários de pico, devido à própria característica dos dispositivos instalados.

Nas Figuras 6.17, 6.18 e 6.19 são mostrados comparativos do comportamento das taxas de distorções harmônicas de tensão e corrente nas linhas, e no neutro, respectivamente, antes (09/10/2000), e após (23/10/2000) a instalação dos equipamentos eficientes, no horário de ponta. O perfil do conteúdo harmônico da tensão e corrente em uma das fases, e no neutro, antes e após a instalação dos equipamentos eficientes, em um dia típico, pode ser visto nas Figuras 6.20 a 6.22.

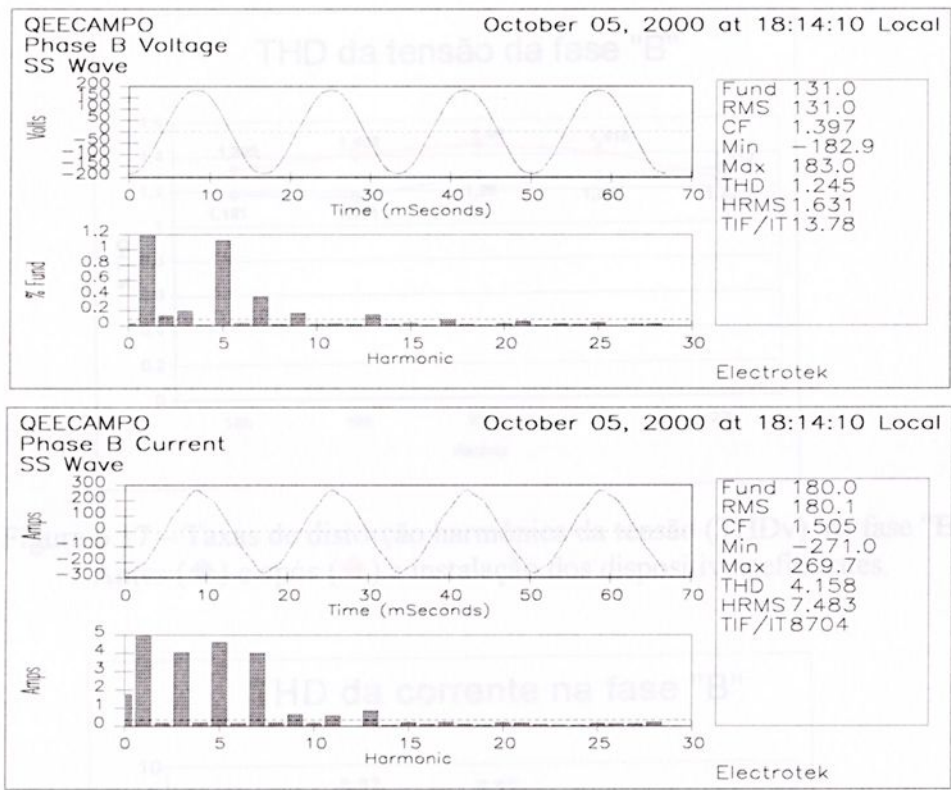


Figura 6.15 – Tensão e corrente no secundário do transformador antes da instalação dos dispositivos eficientes.

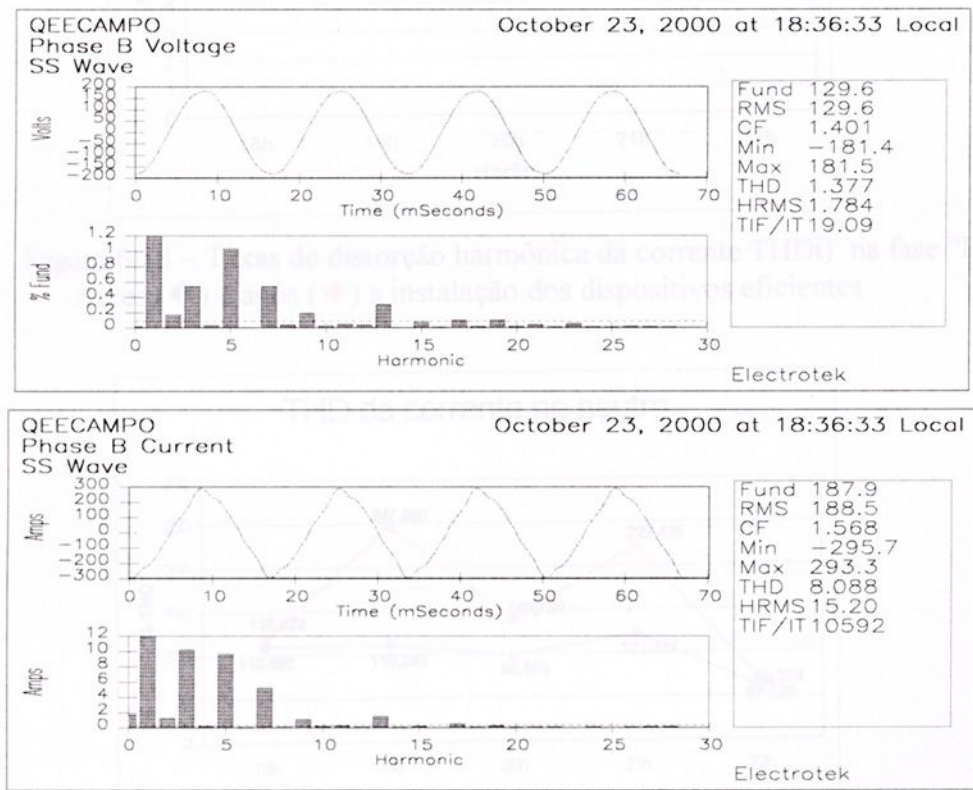


Figura 6.16 – Tensão e corrente no secundário do transformador após a instalação dos dispositivos eficientes.

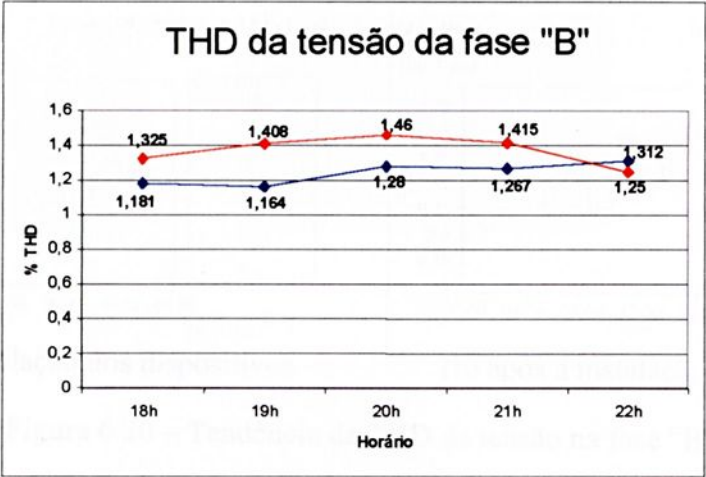


Figura 6.17 – Taxas de distorção harmônica da tensão (THDv) na fase “B”. Antes (◆) e após (◆) a instalação dos dispositivos eficientes.

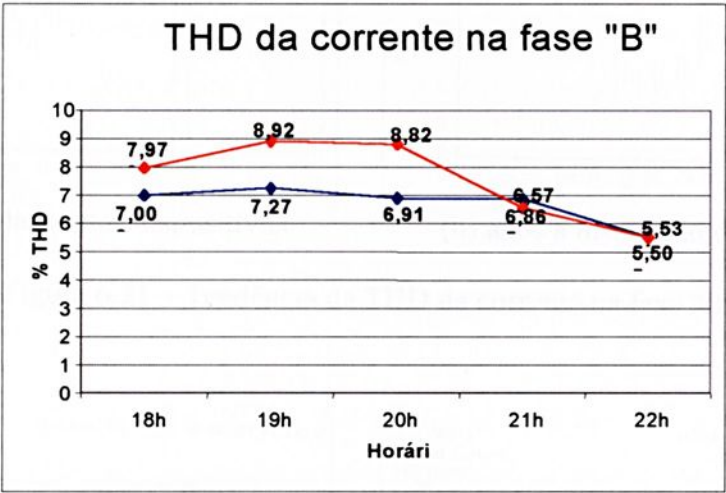


Figura 6.18 – Taxas de distorção harmônica da corrente THDi) na fase “B”. Antes (◆) e após (◆) a instalação dos dispositivos eficientes.

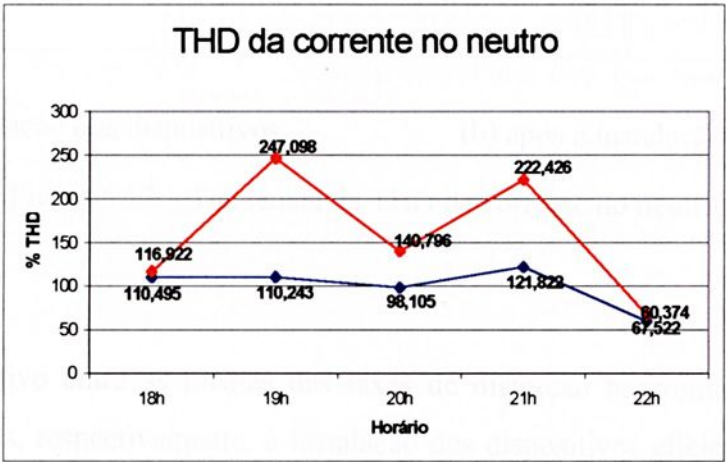


Figura 6.19 – Taxas de distorção harmônica da corrente THDi) no neutro. Antes (◆) e após (◆) a instalação dos dispositivos eficientes.

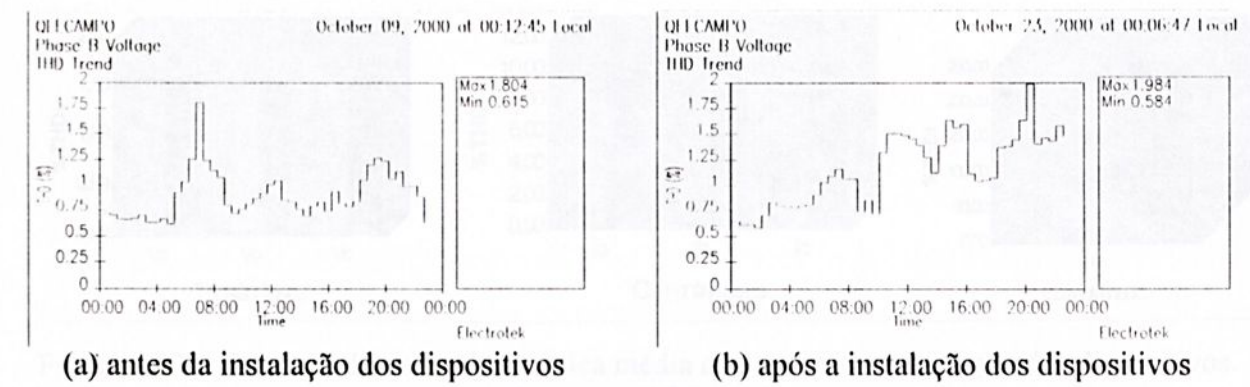


Figura 6.20 – Tendência da THD da tensão na fase “B”

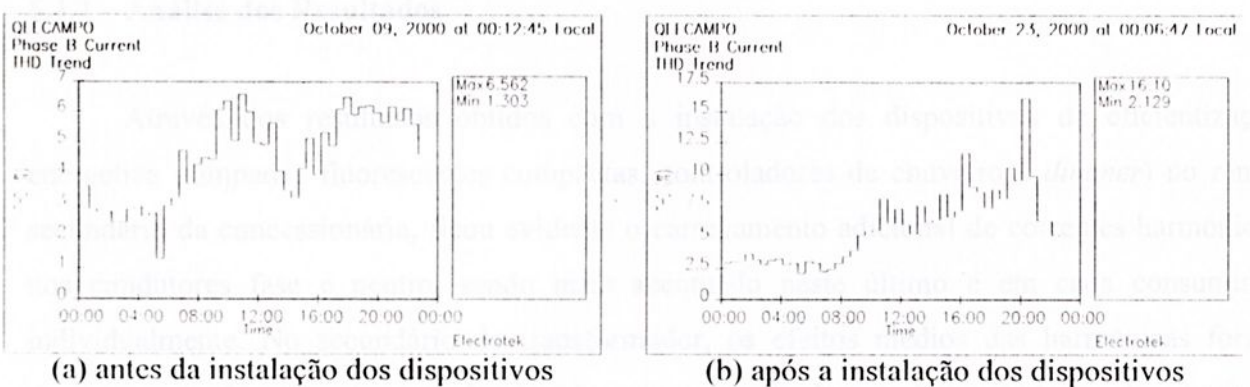


Figura 6.21 – Tendência da THD da corrente na fase “B”

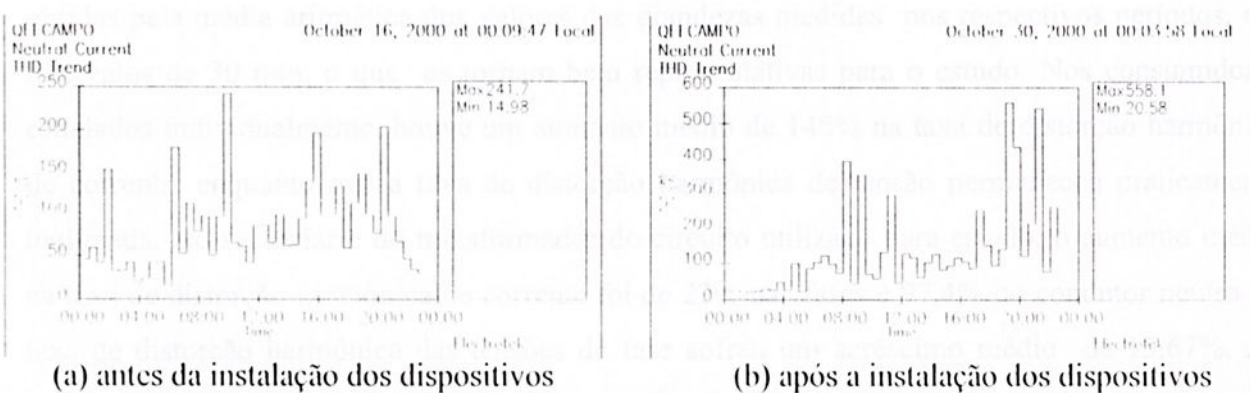


Figura 6.22 – Tendência da THD da corrente no neutro

Um comparativo entre as médias das taxas de distorção harmônica total de tensão e corrente, antes e após, respectivamente, à instalação dos dispositivos eficientes, no horário das 18h às 22h, é mostrado nos gráficos das Figura 6.23.

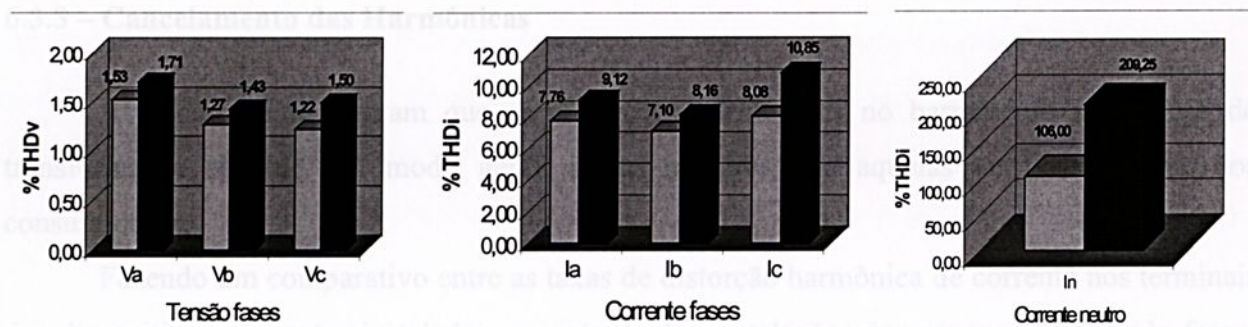


Figura 6.23 – Taxas de distorção harmônica média antes e após a instalação dos dispositivos.
(◆) - antes (◆) - após

6.3.2 – Análise dos Resultados

Através dos resultados obtidos com a instalação dos dispositivos de eficiência energética (lâmpadas fluorescentes compactas, controladores de chuveiro e *dimmer*) no ramal secundário da concessionária, ficou evidente o carregamento adicional de correntes harmônicas nos condutores fase e neutro, sendo mais acentuado neste último e em cada consumidor individualmente. No secundário do transformador, os efeitos médios das harmônicas foram menos acentuados, uma vez que, houve uma compensação desses efeitos ao longo do circuito e conseqüente atenuação do efeito total dessas componentes no barramento secundário do transformador. As THD's médias, antes e após a instalação dos equipamentos eficientes, foram obtidas pela média aritmética dos valores das grandezas medidas nos respectivos períodos, em intervalos de 30 min, o que as tornam bem representativas para o estudo. Nos consumidores estudados individualmente, houve um aumento médio de 148% na taxa de distorção harmônica de corrente, enquanto que a taxa de distorção harmônica de tensão permaneceu praticamente inalterada. No secundário do transformador do circuito utilizado para estudo, o aumento médio na taxa de distorção harmônica de corrente foi de 22% nas fases e 97,4% no condutor neutro. A taxa de distorção harmônica das tensões de fase sofreu um acréscimo médio de 15,67%. As ordens harmônicas mais significativas foram a 3ª e 5ª, destacando-se a 3ª.

O período de maior carregamento adicional nos condutores do circuito, devido às componentes de correntes harmônicas, foi das 19h 30min às 20h, e o de menor carregamento, devido a tais correntes, foi das 5h às 6h da manhã.

6.3.3 – Cancelamento das Harmônicas

As medições mostraram que as distorções harmônicas no barramento secundário do transformador são, de um modo geral, muito menores que aquelas verificadas junto aos consumidores.

Fazendo um comparativo entre as taxas de distorção harmônica de corrente nos terminais dos dispositivos eficientes instalados, na entrada das instalações dos consumidores onde foram realizadas as medições e no barramento secundário do transformador do circuito selecionado para estudo, verificou-se que, a média da THD de corrente nos dispositivos eficientes foi de 99,81% enquanto que na entrada das instalações dos consumidores a mesma foi de 39,8%. Já no secundário do transformador, a média da THD de corrente nas três fases foi de 9,4%, como mostrado na Figura 6.24. Esses resultados demonstram uma diminuição da THD de corrente ao longo do circuito de 90,6%.

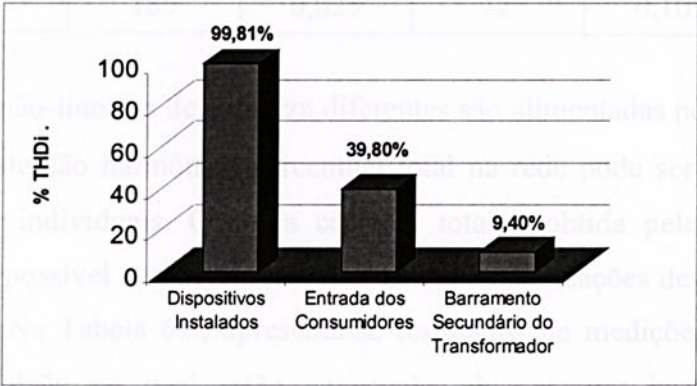


Figura 6.24 - Distorção harmônica da corrente de alimentação ao longo do alimentador

Estes resultados devem-se, principalmente, à diversidade de cargas elétricas ligadas neste ramal e à substancial diminuição da relação global entre cargas lineares e não-lineares no circuito secundário do transformador.

Além disso, um outro aspecto que contribui para a diminuição dos níveis de distorção harmônica é o cancelamento ou atenuação das correntes harmônicas individuais. Este fato se deve à combinação de cargas monofásicas e trifásicas, à diferença na impedância do sistema e nos parâmetros de carga, e finalmente, à diferença de ângulos de fase devido a diferentes tipos de carga.

A composição vetorial das correntes harmônicas devido à conexão de cargas trifásicas e monofásicas no mesmo nível de tensão pode representar uma atenuação global significativa da taxa de distorção harmônica, devido a diferença nos ângulos de fase dos componentes

harmônicos destas cargas. Este fenômeno pode ser observado com clareza em instalações que utilizam pontes retificadoras trifásica e monofásicas instaladas em um mesmo ramal do circuito de distribuição. Os resultados de medições em instalações reais apresentados na Tabela 6.4 ([32]), mostram que o valor eficaz obtido da composição vetorial das componentes harmônicas é, para algumas ordens harmônicas substancialmente menor que a soma dos valores eficazes individuais.

Tabela 6.4 – Composição das correntes harmônicas em pontes retificadoras

	Ponte Retificadora 3Ø		Ponte Retificadora 1Ø		Corrente Combinada	
	Magnitude (pu)	Ângulo de Fase (graus)	Magnitude (pu)	Ângulo de Fase (graus)	Soma Vetorial	Soma Linear
Fund.	1	-13	1	-5	1,970	2,000
5	0,765	118	0,377	-41	0,435	1,142
7	0,627	-90	0,127	116	0,516	0,754
11	0,248	31	0,053	-102	0,215	0,301
13	0,127	169	0,025	-2	0,102	0,152

Quando cargas não-lineares de natureza diferentes são alimentadas por um transformador ou barra comum, a distorção harmônica percentual total na rede pode ser menor que aquelas registradas nas cargas individuais. Como a corrente total é obtida pela soma fasorial das correntes individuais é possível que ocorra cancelamentos ou atenuações devido diversidade nos espectros harmônicos. Na Tabela 6.5, apresenta-se resultados de medições realizadas em um barramento de distribuição no qual estão conectados duas cargas bastante utilizadas em instalações residenciais ([32]). No caso apresentado, a corrente total que flui através do barramento tem uma distorção harmônica de 46,5% enquanto as distorções harmônicas da corrente do televisor e do dimmer são respectivamente 96,4% e 99,9%. Isto se deve fundamentalmente à atenuação significativa dos valores eficazes das componentes harmônicas de baixa ordem da corrente total, notadamente a 3ª e 5ª.

No programa de conservação de energia adotado neste trabalho as cargas substituídas representam 2,6% da carga total instalada e as novas cargas implantadas totalizam 0,8% da carga total instalada. Mesmo considerando outras cargas não-lineares também presentes no circuito tais como televisores, fornos de microondas, vídeo cassetes, equipamentos de som, computadores, etc., o total de cargas não-lineares comparado com o total de cargas lineares existente no circuito ainda é relativamente pequeno em relação à carga total instalada. Desta forma, por conta desta composição global das cargas, os índices de distorção harmônica percentual das correntes

tendem a cair. Por outro lado, conforme apresentado anteriormente, existem ainda fatores relacionados com a atenuação das correntes harmônicas devido à diversidade dos espectros harmônicos individuais, bem como, sua distribuição entre as diferentes fases do alimentador trifásico.

Tabela 6.5 – Composição de correntes harmônicas

Harmônicas	Televisão		Dimmer		Combinado	
	Magnitude %	Ângulo de Fase (graus)	Magnitude %	Ângulo de Fase (graus)	Magnitude %	Ângulo de Fase
Fund.	100	1	100	-50	100	-20,3
3	79,8	-173	76,6	31	23,3	148
5	49,2	12	42,3	122	30,9	49
7	20,5	-159	21,1	-111	21,0	-138
9	4,0	81	21,2	20	11,4	31,3
11	5,5	-13	17,7	128	6,0	106
13	3,1	175	12,2	-108	6,2	-121
15	0,8	-138	11,7	20	5,0	17

6.4 – Conclusão

Neste capítulo foram discutidos os aspectos relacionados à qualidade de energia em ambientes que envolve a utilização de dispositivos eficientes. Mais especificamente, pela visão do consumidor, foi tratado da substituição de reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos. Verificou-se que estes equipamentos diminuem os gastos com energia elétrica, mas, em contrapartida injetam componentes harmônicas poluindo a rede, e, isso deve ser contabilizado no momento em que se decide por um projeto mais eficiente energeticamente

Naturalmente, os resultados dependem fundamentalmente das características operacionais dos reatores envolvidos. O caso apresentado como ilustração considerou-se, propositalmente, um reator eletrônico de baixa qualidade técnica, tanto com relação ao fator de potência como a taxa de distorção harmônica da corrente com o objetivo de destacar os efeitos citados. Existem, entretanto, várias opções no mercado de reatores eletrônicos, diferenciados em qualidade técnica e custo.

Foi mostrado, também, através de ensaio com lâmpadas fluorescente compactas, que devido as altas taxas de distorção de corrente, os dispositivos eficientes provocam quedas de

tensão acentuadas nos circuitos em que estão inseridos, além de levar a corrente que circula pelo neutro à valores que ultrapassam os admissíveis pelas normas.

Pelo lado da concessionária foi visto que o aumento da introdução das lâmpadas fluorescentes compactas nas cargas domésticas podem levar a uma grande distorção harmônica na tensão da entrada. Isso torna-se mais significativo quando equipamentos de compensação de potência reativa são instalados junto da fonte alimentadora.

Resultados de medições efetuadas, tanto nos locais consumidores como no secundário do transformador, foram apresentados, a fim de se poder avaliar o impacto causado pela instalação dos dispositivos de economia de energia no sistema elétrico.

Verificou-se grande distorção harmônica nos pontos onde foram conectados os equipamentos, mas os efeitos vão se amenizando à medida que, percorrendo a instalação, chega-se no secundário do transformador. Tudo isso devido aos cancelamentos das harmônicas ao longo do circuito.

CONCLUSÕES GERAIS

Neste trabalho, foi visto que para economizar energia, dispõe-se de um rol de soluções. Estas envolvem uma ampla variedade de oportunidades que abrangem principalmente a aplicação de motores e seus acionamentos, o gerenciamento das contas de energia elétrica, os sistemas de iluminação e a adequação do fator de potência. Para cada instalação, com o uso de algumas técnicas específicas, pode-se desenvolver soluções com grandes chances de gerar economias de forma consistente e a longo prazo.

Como a cada solução corresponde um custo, e no mundo dos negócios as decisões são influenciadas pelo retorno dos investimentos, deve-se estimar o benefício que cada solução gerará. Da análise da relação benefício/custo identifica-se então entre os diferentes cenários apresentados aquele que se apresenta mais favorável sob o ponto de vista técnico e econômico.

Soluções que dispensam análise de investimentos pela forma clara com que permitem a redução expressiva do custo mensal da conta de eletricidade é o gerenciamento das contas de energia no que se refere a ajustes nos contratos demanda, eliminação de multas por ultrapassagens e baixo fator de potência. Neste caso, ainda vale a pena destacar que práticas relativamente simples envolvendo a mudança de hábito de consumo visando evitar desperdícios relacionados principalmente com uso inadequados dos dispositivos devem ser sempre incentivadas.

Na ótica da redução do consumo de eletricidade outra ação que dá resultados importantes é fazer uso das novas tecnologias de uso eficiente de energia. Neste caso, é indispensável um estudo de viabilidade econômica que sinalize para os casos de instalações novas ou “retrofitting” o tempo de retorno do investimento realizado “payback”. As economias geradas e o “payback” previsto geralmente são atrativos o que tem proporcionado um crescimento significativo da implantação de programas de conservação de energia elétrica. É importante destacar que estes programas de conservação levam de fato a otimização do consumo de energia elétrica, entretanto os resultados obtidos ficam, em geral, abaixo da expectativa preconizada devido principalmente a grande diversidade na qualidade técnica dos dispositivos considerados eficientes. Resultados que ilustram esta prática foram apresentados no Capítulo III deste trabalho.

Entretanto, o lado negativo desses dispositivos de economia de energia é que eles alcançam o objetivo a que se propõem, reduzir o consumo de energia da carga, porém com prejuízos para a qualidade de energia elétrica ofertada. Como visto, nos Capítulos IV e V deste trabalho os principais aspectos associados a perda da qualidade de energia referem-se basicamente ao aumento das taxas de distorção harmônica de tensão e corrente.

O condutor neutro de uma instalação com muitas cargas monofásicas não-lineares, caso típico de edifícios comerciais e análogos que contêm grande quantidade de aparelhos de iluminação fluorescente e de microcomputadores, é o principal afetado pelas componentes harmônicas. Como esplanado no Capítulo V a corrente de neutro nos circuitos de distribuição trifásicos a 4 condutores, mesmo havendo um equilíbrio razoável entre as cargas, é superior à corrente de desequilíbrio normal esperada, podendo mesmo superar a corrente de fase. Isso deve-se às correntes harmônicas de ordem 3 e múltiplos que, como visto, praticamente somam-se no neutro.

Uma corrente excessiva no neutro, onde, via de regra, não existe proteção contra sobrecorrentes, causa além de superaquecimento do condutor, de suas conexões e da barra de neutro, uma queda de tensão no circuito, que pode superar os limites fixados.

Um outro aspecto importante associado a ondas não-senoidais é a degradação do fator de potência da instalação. Verificou-se que o fator de potência verdadeiro é tanto menor quanto maior for a taxa de distorção harmônica das correntes e tensões. Neste sentido, em instalações onde foi realizado “retrofitting” com o objetivo de reduzir o consumo é indispensável investigar também se neste novo cenário não ocorre faturamento de energia reativa. Um caso típico foi ilustrado no Capítulo VI deste trabalho, onde, embora tenha sido constatado uma redução significativa da potência ativa motivada pela substituição de reatores eletromagnéticos por eletrônicos, a potência aparente total aumentou devido ao baixo fator de potência final da instalação.

Pelo lado da oferta, através de um trabalho conjunto com uma concessionária de energia, verificou-se o impacto de um programa de GLD (gerenciamento pelo lado da demanda) no consumo e na qualidade da energia elétrica.

Verificou-se, através dos resultados obtidos por medição antes e depois da instalação de dispositivos eficientes, que a redução de consumo foi inexpressiva devido principalmente ao baixo valor total de potência liberada quando comparada a potência total instalado no alimentador. Entretanto, mesmo nestas condições, os aspectos negativos associados a perda qualidade de energia ofertada foram claramente observados após a instalação dos dispositivos eficientes.

Os resultados conclusivos obtidos no âmbito desse trabalho sugerem investigações mais detalhadas relacionadas com os fenômenos associados ao suprimento de cargas não-lineares. Os principais aspectos a serem considerados na aplicação de dispositivos eficientes referem-se ao aumento das taxas de distorção harmônica, deterioração do fator de potência, sobrecarga no condutor neutro e regulação de tensão. Particularmente, na ótica da concessionária de energia há que se considerar também o aparecimento de sobretensões em bancos de capacitores devido a ressonâncias harmônicas.

Neste sentido, destacam-se alguns seguimentos que poderão trazer benefícios imediatos na operação e planejamento dos sistemas de distribuição de energia elétrica baseados principalmente nas referências [05], [09], [24] e [25].

O primeiro refere-se a análise do comportamento dos medidores eletromecânicos de energia, sob condições operativas não-senoidais. São necessárias investigações sistematizadas com o objetivo de caracterizar individualmente a influência de cada frequência harmônica, levando em consideração diferentes ângulos de fase e amplitudes. Espera-se, que com estudos desta natureza seja possível prever erros de medida associados a operação de algumas cargas específicas cujo conteúdo harmônico seja conhecido e assim estabelecer diretrizes para a composição de tarifas mais justas e/ou incentivos para instalação de filtros.

Outros seguimentos a serem desenvolvidos estão relacionados com políticas de instalação, planejamento e operação de transformadores e bancos de capacitores operando em ambientes poluídos. Nesta área, os trabalhos podem ser direcionados no sentido de estabelecer metodologias que visam a minimização dos custos operacionais desses equipamentos seguidas do desenvolvimento e implementação de programas computacionais para a busca da melhor solução técnico-econômica [08], [10], [11], [16] e [26].

Finalmente, recomenda-se que em para trabalhos futuros seja desenvolvida uma metodologia para estudo de viabilidade econômica do investimento que incorpore os custos adicionais relacionados a perda de qualidade da energia elétrica ofertada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] A. CAVALLINI, G. MAZZANTINI, G.C MOTANARI "The Effect of Nonsinusoidal Supply on Life Performance of Electrical Insulating Systems" – International Conference on Harmonics and Quality of Power – IEEE -ICHQP96, Las Vegas USA, 1996.
- [02] A. CAVALLINI, G. MAZZANTINI, et all " A parametric investigation on the effect of harmonics distorcion on life expectancy of power capacitors"- Proc. Of Med. Electr. Conf. (MELECON), pp. 491-494, Bari, Italy, May, 1996.
- [03] ANSI / IEEE C57.110/D7, "Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Non-Sinusoidal Load Currents", IEEE, NY, Febr. 1998.
- [04] A. CAVALLINI, G. MAZZANTINI, et all "Consideration on the life performance and installations practice of shunt capacitors in the presence of harmonics generated by AC/DC converters" - International Conference on Harmonics and Quality of Power – IEEE, Las Vegas USA, 1996.
- [05] OLIVEIRA, AUGUSTO C.C. e SÁ JR., JOSÉ C. de, "Uso Eficiente de Energia Elétrica", Editora Universitária da UFPE, 1998.
- [06] DUGAN, R.C.; MCGRANAGHAN, M.F.; BEATY, H.W.; - "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 1996.
- [07] MOSS, H., "Curso Engenharia Econômica Aplicada à Eficiência energética", CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 2000.
- [08] DE OLIVEIRA, L.C.O; ROSSI, J.C. PIRES F.A.C., "Symmetrical Components Analysis of Harmonics Excitation Currents in Transformers Under DC Saturation", In:

- [07] INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONICS AND QUALITY OF POWER , IEEE-ICHQP/96, pp. 406-411, Las Vegas USA, october/1996.
- [09] LUZ, JEANINE M. e FELBERBAUM, MARCUS I., "Ensaio em Reatores Eletrônicos e o Impacto na Conservação de Energia Elétrica" III SBQEE, agosto 1999.
- [10] EMANUEL ,A.E.; SZABADOS,B. - "Effect of Voltage and , Current Distortion on Iron and Copper Losses". IEEE, Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, n- 8, August, 1984.
- [11] EMANUEL, A.E.; WANG, X.- "Estimation of Loss of Life of Power Transformers Supplyng Nonlinear Loads". IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, N-3, March 1985.
- [12] TAKAHASHI, K., MALISZEWSKI, R.M., MESLIER, F., WALLACE, P., SALVADERI, L. and WATANABE, T., "Impacts Of Demand Side Power Electronics Technologies On Power System Planning", CIGRE SC-37, 1995.
- [13] GELLER, H. "O uso eficiente da eletricidade – uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil". INEE, ACEEE, Rio de Janeiro, 1994.
- [14] HSU, J.S.; WOODSON, H.H.; LIOU, S. - "Experimental Study of Harmonic Flux Effects in Ferromagnetic Materials". IEEE Transactions on Magnetics , vol. MAG-25, N° 3, may 1989.
- [15] HWANG, M.S.; GRADY, W. M.; SANDERS, H.W. - "Distribution Transformer Winding Losses due to Nonsinusoidal Currents". IEEE Transactions on Power Delivery, vol. PWRD-2, N° 1, jan. 1987.
- [16] HWANG M. S.; GRADY W. M., "Calculation of Winding Temperatures in Transformer Subjected to Harmonic Currents", IEEE Transactions on Power Delivery, vol.PWRD-3, n° 3, July 1988.

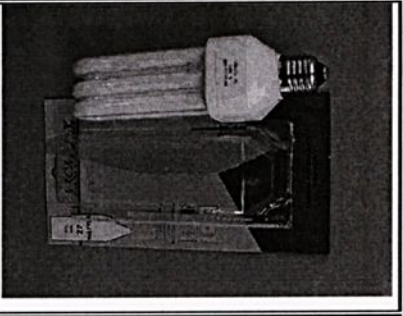


- [17] IEEE Task Force, -"Effects of Harmonics on Equipment" – IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.8, N.2, pp. 672-680, April, 1993
- [18] KOZLOWISK, M.; TUROWSKI, J. - " Stray Losses and Local ,Overheating Hazard in Transformers". International Conference on Large Hight Tension in Electric Systems, Paris, august, 1972.
- [19] LEÃO, R.P.S., TAVARES, T.N. e BATISTA, J.T., "Conservação e Poluição no Uso de Lâmpadas de Descarga", III SBQEE, agosto 1999.
- [20] MIT, Department of Electrical Engineering, " Magnetic Circuits and Transformers". MIT press, july 1962, pag .135.
- [21] NAKATA, T.; ISHIHARA, Y.; NAKANO, M. - "Iron Losses of Silicon Steel Core Produced by Distorted Flux". Electrical Engineering in Japan, vol. 90, N°- 1, 1970.
- [22] NEWBURY, R.A. - "Prediction of Loss in Silicon Steel from Distorted Waveforms". IEEE Transactions on Magnetics, vol. MAG-14, N- 4, July, 1978.
- [23] PHIPPS, J.K. Nelson; J.P.; Pankaj, K. - "Power Quality and Harmonic Distortion on Distribution Systems". IEEE Transactions on Industry Applications, vol.30, n.2, March/April, 1994.
- [24] MIELCZARSKI, W.; MICHALIK, G.; LAWRENCE, W. B. and GABRYJELSKI, Z., "Side Effects Of Energy Saving Lamps", ICHQP, Greece, october 1998.
- [25] SHOEPS, CARLOS A. e ROUSSO, JOSÉ, "Conservação de Energia Elétrica na Indústria: faça você mesmo", CNI, DANPI, ELETROBRÁS / PROCEL, 3ª ed. 1994.
- [26] ROSSI J.C.; DE OLIVEIRA L.C.O; STORT, M.A., " The Influence of Double Excitation ac/dc in the Reactive Power Demand of 3-phase Transformers", In: 42th MIDWEST SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS, IEEE, Las Cruces, New Mexico, august/1999.

- [27] SANTAMOURIS, M. Energy retrofitting of office buildings. Vol.1: "Energy efficiency and retrofit measures for offices". Series: Energy conservation in buildings. Editors: M. Santamouris – D. Asimakopoulos . University of Athens, Athens, 1995.
- [28] TOMPSON, J.J.- " On the Heat Produced by Eddy Currents in an Iron Plate Exposed to an Alternating Magnetic Field", The Electrician, April 8, 1892, pp. 509-600.
- [29] BRONZEADO, HERIVELTO S., LIMA, EVERALDO N. e outros, "Conservação e Qualidade da Energia Elétrica: Análise Comparativa entre os Reatores Eletrônicos e Eletromagnéticos Usados em Sistemas de Iluminação Fluorescente", III SBQEE, agosto 1999.
- [30] ACHA, E., JOHNSON, NP., LOH, LL. and MILLER, P., "The Impact Of Energy Saving Apparatus On Power Quality", ICHQP, Greece, October, 1998.
- [31] GRADY, W. MACK and GILLESKIE, ROBERT J., "Harmonics And How They Relate To Power Factor", PQA'93, San Diego, CA, November, 1993.
- [32] MANSOR, A. and GRADY, W. M., "Analysis of Compensation Factors Influencing the Net Harmonics Current Produced by Single-Phase Non-Linear Loads", ICHQP, Greece, October, 1998.
- [33] CATE, "Guia Operacional de Acionamentos Eletrônicos", CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 1998.
- [34] RODRIGUES, P. T., "Curso Iluminação Eficiente", CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 2000.
- [35] COTRIM, A. A. M. B.; MORENO, H., "Qualidade de Energia - Harmônicas", Publicação do Instituto Brasileiro do Cobre, 1998.
- [36] Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999d. "Relatório Síntese dos Programas de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica", Ciclo 1999/2000, Brasília: ANEEL.
- [37] NBR 5410/1997 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão, Procedimentos - ABNT



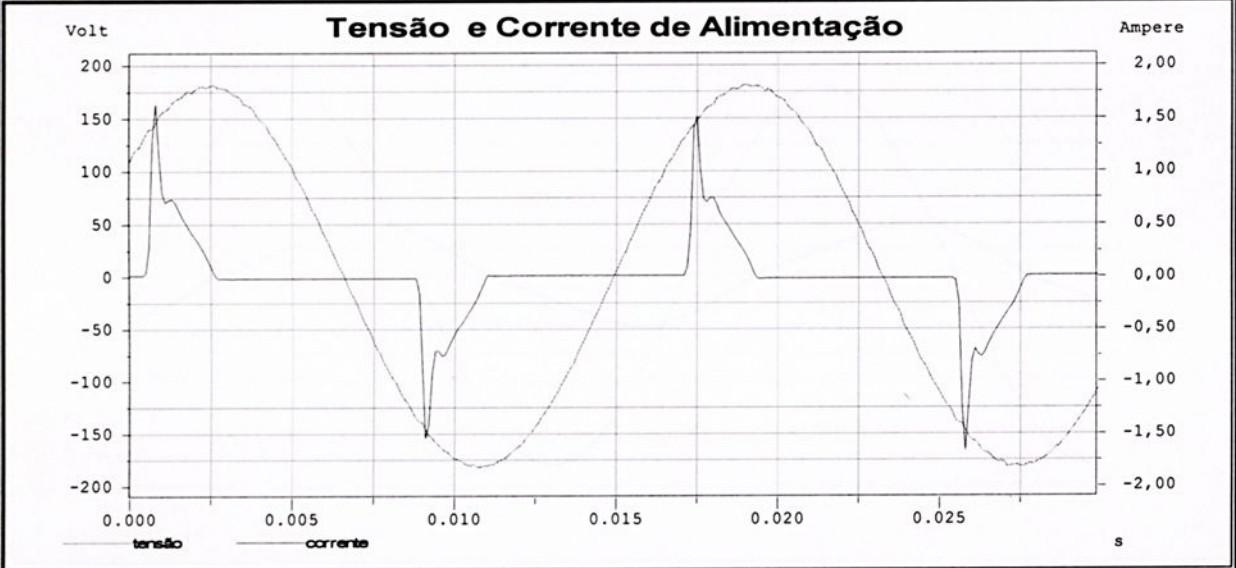
ANEXO I

Fabricante		Fator de Potência		
Origem		THD%		
Modelo		Luminosidade	0,6 Lm	
Tensão	127	Tonalidade de cor	luz fria	
Frequência	60 Hz	Vida útil	8000 h	
Potência	27 W			

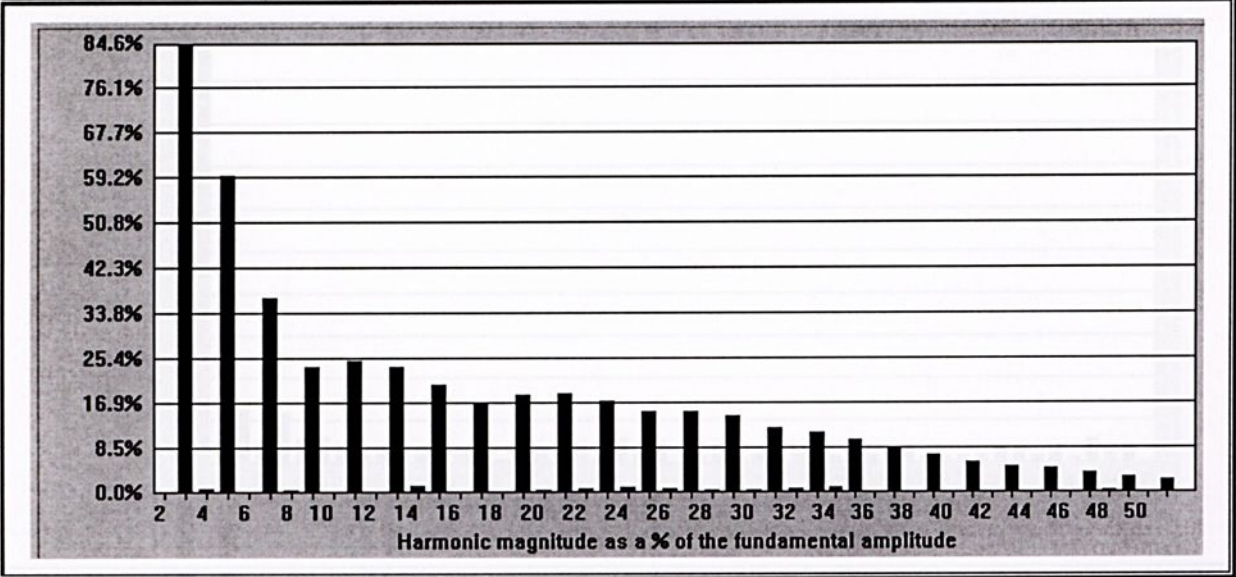
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

	Corrente	Tensão	Potência Ativa	25,8 W
Rms	0,38 A	127 V	Potência Aparente	47,7 VA
Pico	1,74 A	178 V	Potência Reativa	40,2 Var
THD	130,6 %	0,76 %	Fator de Potência (PF)	0,54
Fator de Crista	4,58	1,40	Cos ϕ (DPF)	0,87

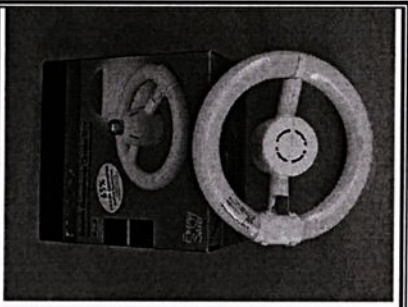
FORMAS DE ONDA:



ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:



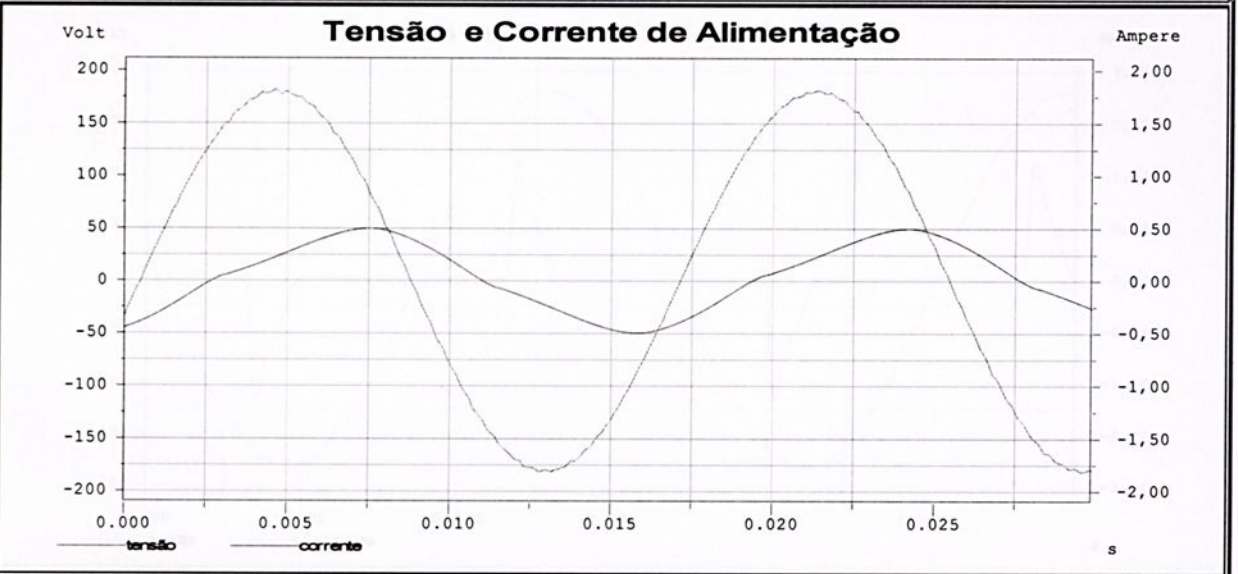
Fabricante		Fator de Potência	
Origem		THD%	
Modelo		Luminosidade	
Tensão	127 V	Tonalidade de cor	Luz do dia
Frequência	50/60 Hz	Vida útil	10.000 h
Potência	26 W		



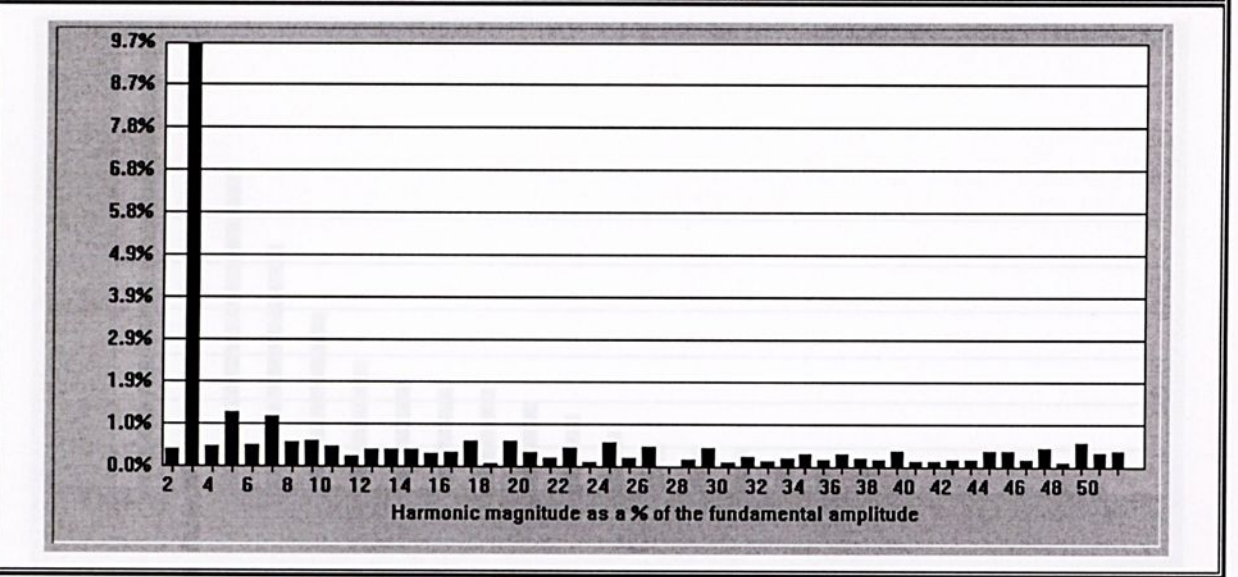
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

	Corrente	Tensão	Potência Ativa	24,10 W
Rms	0,34 A	127 V	Potência Aparente	42,70 VA
Pico	0,50 A	178 V	Potência Reativa	35,20 Var
THD	10,22 %	0,67 %	Fator de Potência (PF)	0,57
Fator de Crista	1,47	1,40	Cos ϕ (DPF)	0,56

FORMAS DE ONDA:



ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:



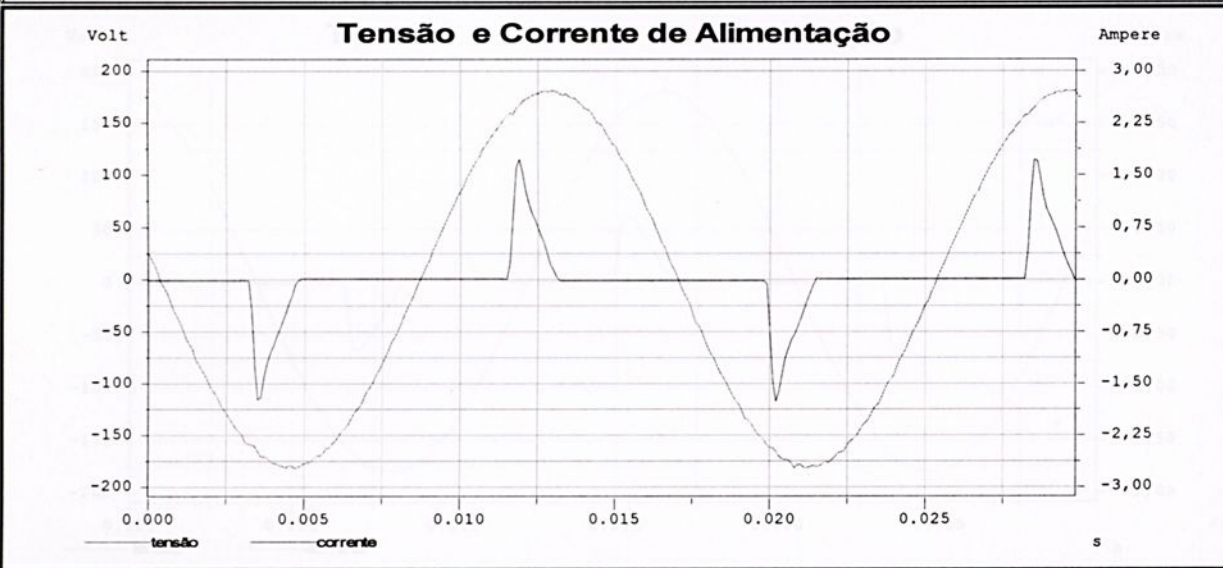
Fabricante		Fator de Potência	≥ 0,5
Origem		THD%	
Modelo		Luminosidade	1500 Lm
Tensão	120 V	Tonalidade de cor	COR 21
Frequência	60 Hz	Vida útil	10000h
Potência	23 W		



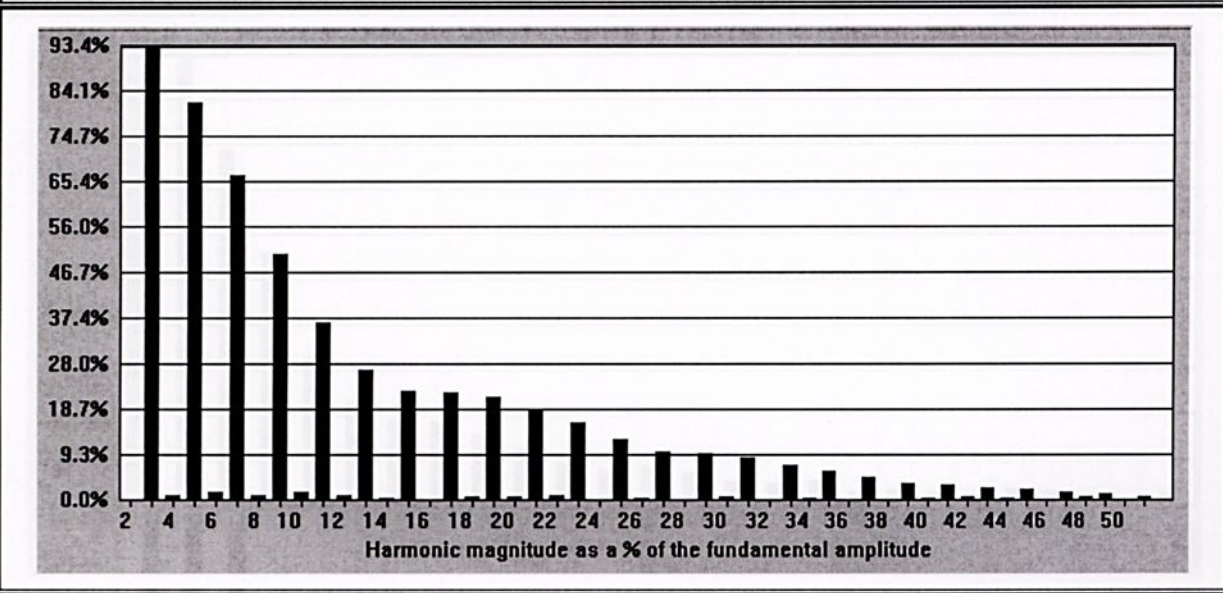
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

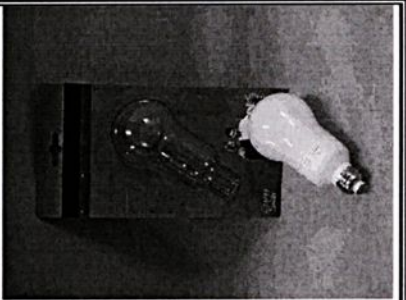
	Corrente	Tensão	Potência Ativa	27,0 W
Rms	0,42 A	128 V	Potência Aparente	53,6 VA
Pico	1,76 A	180 V	Potência Reativa	46,3 Var
THD	165,75 %	0,69 %	Fator de Potência (PF)	0,50
Fator de Crista	4,19	1,41	Cos ϕ (DPF)	0,95

FORMAS DE ONDA:



ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:

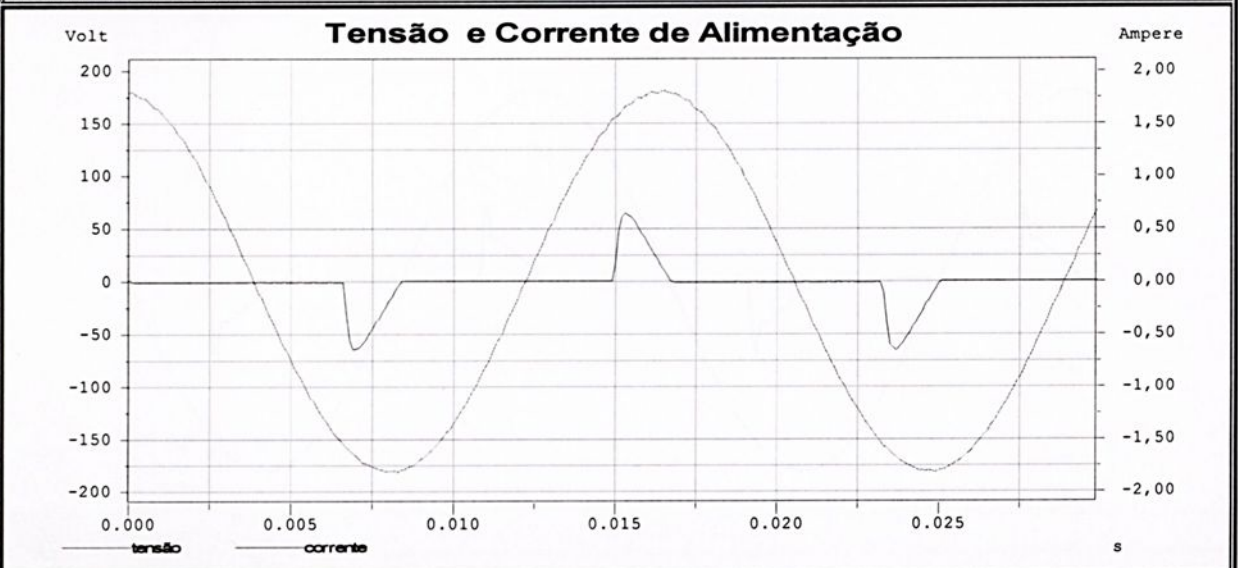


Fabricante		Fator de Potência		
Origem		THD%		
Modelo		Luminosidade		
Tensão	110-120V	Tonalidade de cor	Luz Suave	
Frequência	50/60 Hz	Vida útil	5840 h	
Potência	16 W			

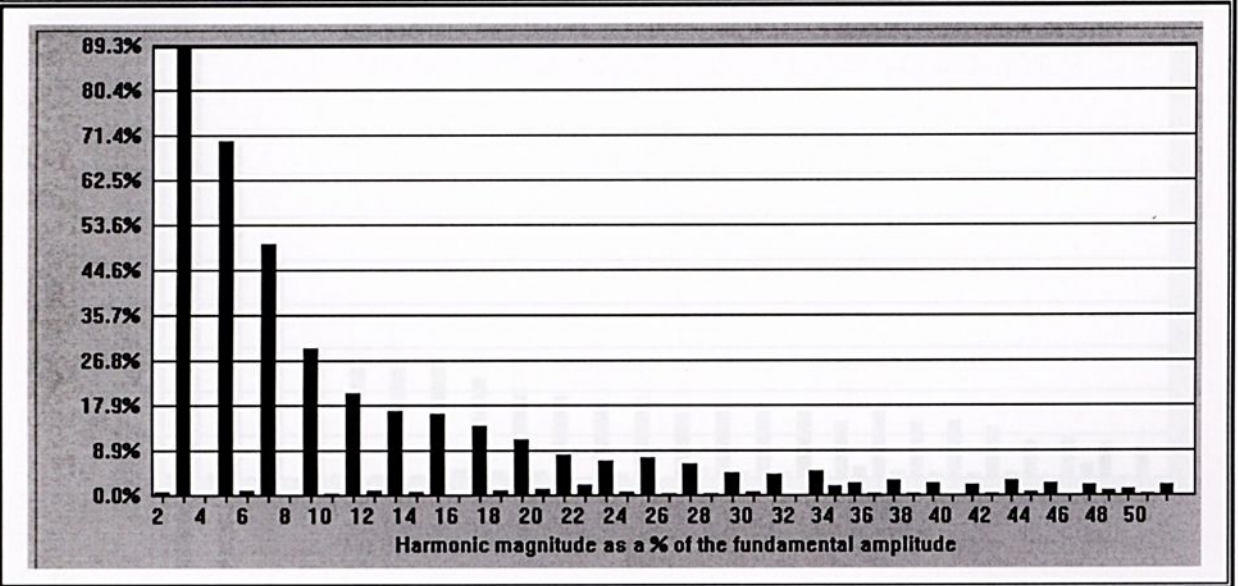
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

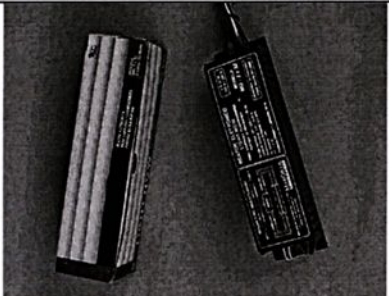
	Corrente	Tensão	Potência Ativa	16,40 W
Rms	0,23 A	127 V	Potência Aparente	29,30 VA
Pico	0,70 A	178 V	Potência Reativa	24,30 Var
THD	134,47 %	0,61 %	Fator de Potência (PF)	0,56
Fator de Crista	3,04	1,40	Cos ϕ (DPF)	0,92

FORMAS DE ONDA:



ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:

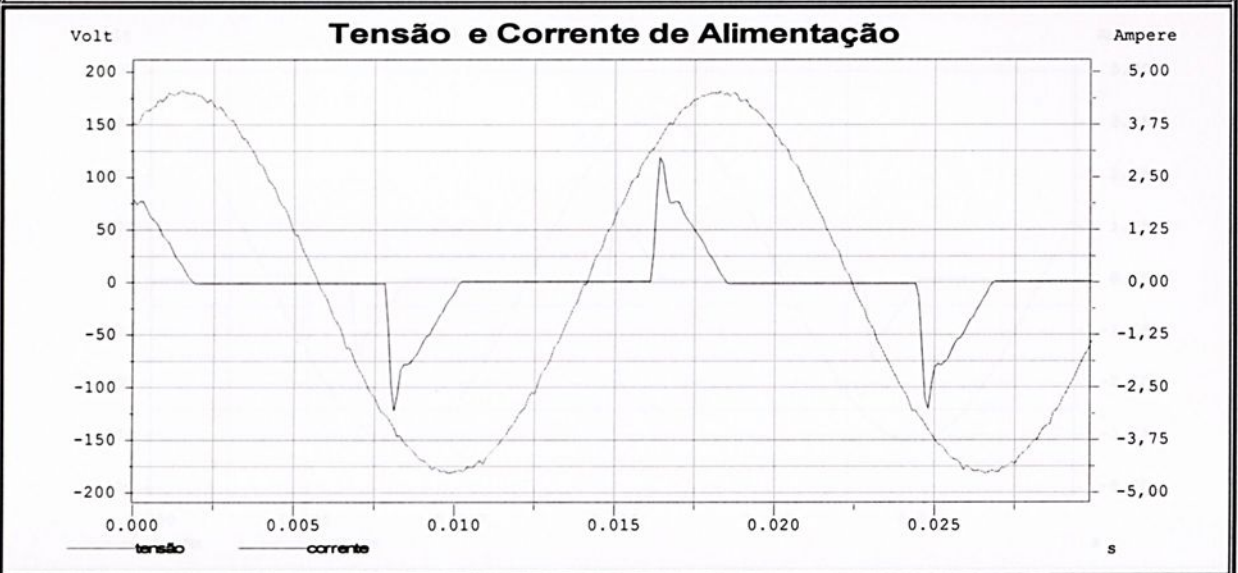


Fabricante	A	Fator de Potência	>0,58	
Origem		THD%		
Lâmpadas	2 x 32 W	Luminosidade		
Tensão	127/220 V	Tonalidade de cor		
Frequência	60 Hz	Vida útil		
Potência	60 W			

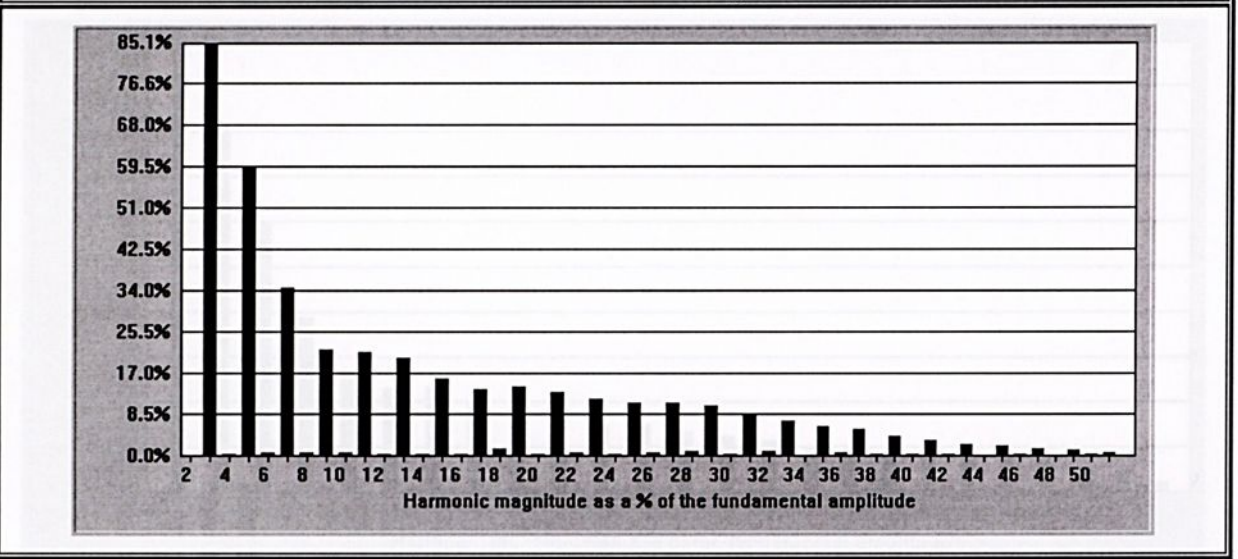
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

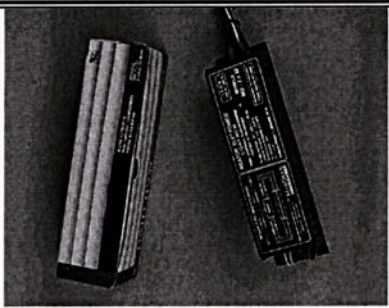
	Corrente	Tensão	Potência Ativa	59,60 W
Rms	0,83 A	127 V	Potência Aparente	91,20 VA
Pico	3,00 A	178 V	Potência Reativa	69,00 Var
THD	122,7 %	0,76 %	Fator de Potência (PF)	0,65
Fator de Crista	3,61	1,40	Cos ϕ (DPF)	0,88

FORMAS DE ONDA:

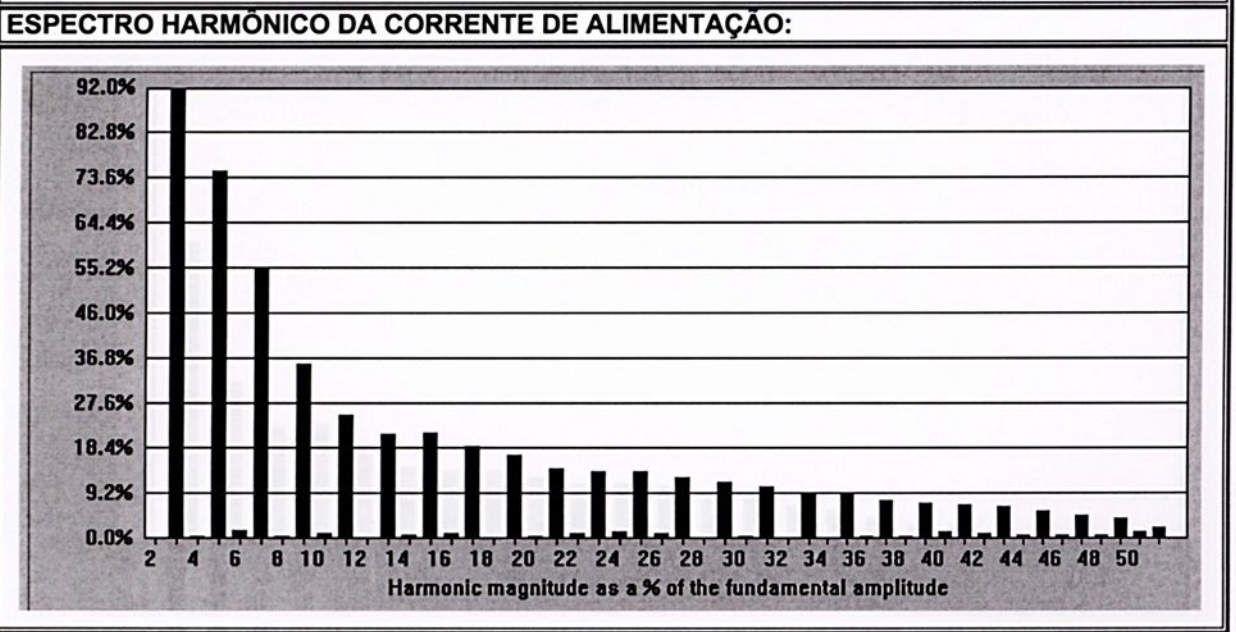
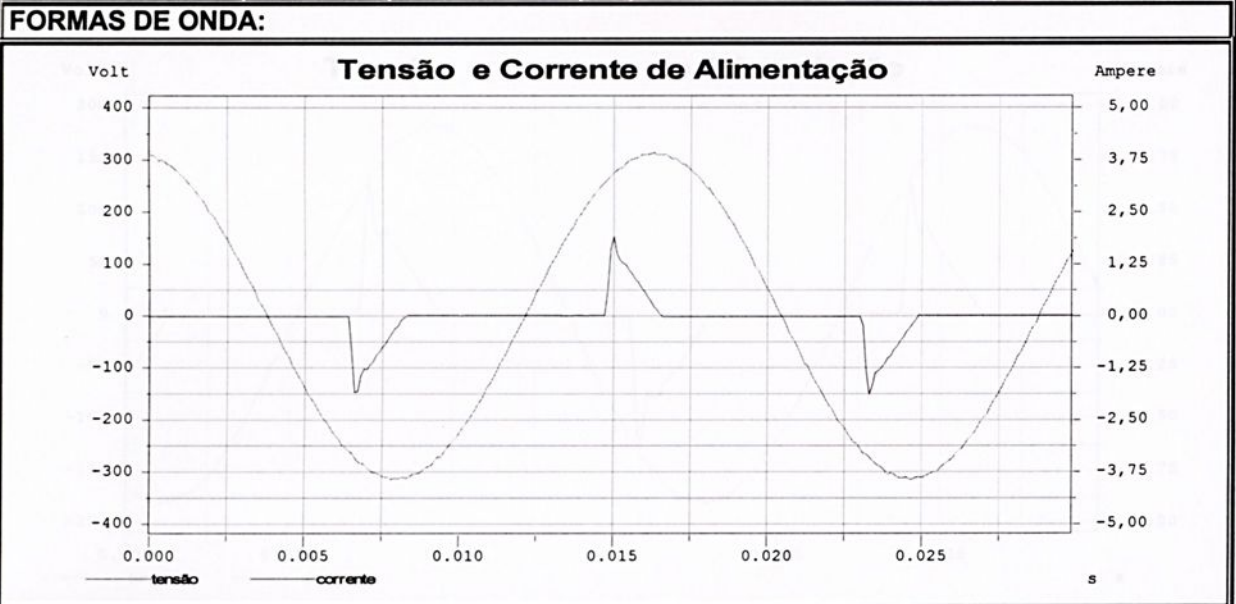


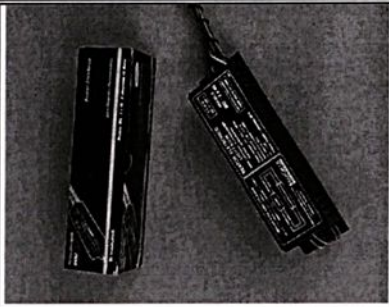
ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:



Fabricante	A	Fator de Potência	>0,58	
Origem		THD%		
Lâmpadas	2 x 32 W	Luminosidade		
Tensão	127/220 V	Tonalidade de cor		
Frequência	60 Hz	Vida útil		
Potência	60 W			

RESULTADOS EXPERIMENTAIS					
	Corrente	Tensão		Potência Ativa	56,8 W
Rms	0,48 A	220 V		Potência Aparente	105,0 VA
Pico	1,88 A	310 V		Potência Reativa	88,5 Var
THD	149,5%	0,53 %		Fator de Potência (PF)	0,54
Fator de Crista	3,92	1,41		Cos ϕ (DPF)	0,93

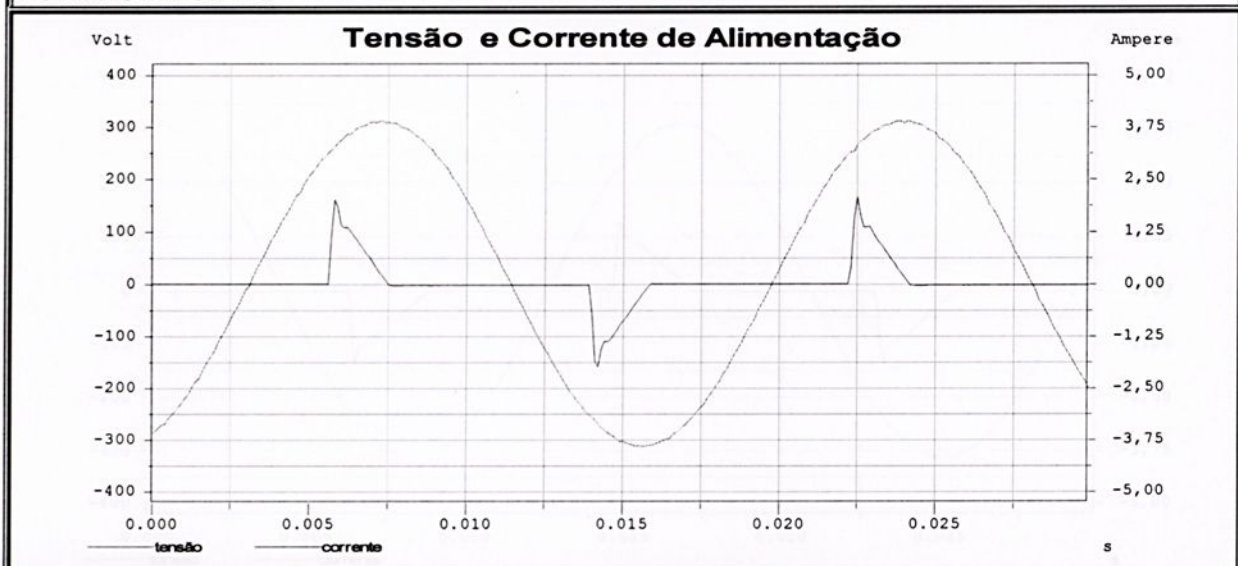


Fabricante	A	Fator de Potência	>0,58	
Origem		THD%		
Lâmpadas	2 x 40 W	Luminosidade		
Tensão	127/220 V	Tonalidade de cor		
Frequência	60 Hz	Vida útil		
Potência	66 W			

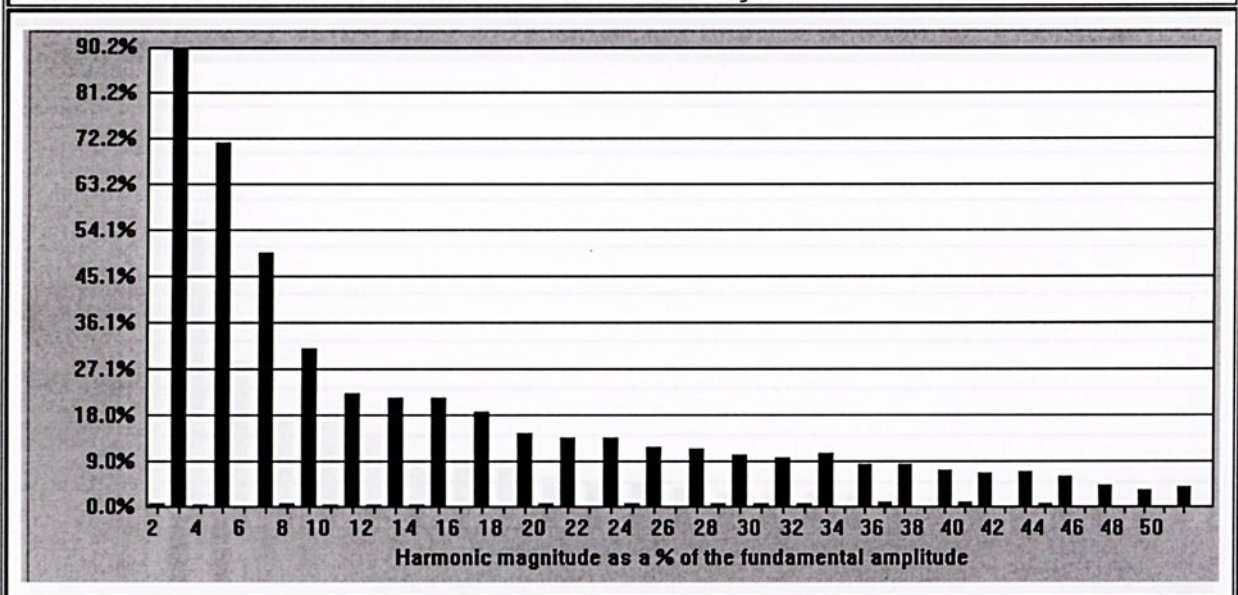
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

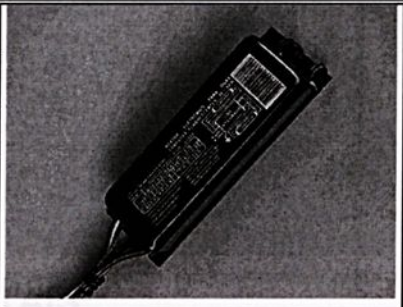
	Corrente	Tensão	Potência Ativa	61,7 W
Rms	0,51 A	220 V	Potência Aparente	113,0 VA
Pico	1,96 A	306 V	Potência Reativa	95,0 Var
THD	142,3 %	0,57 %	Fator de Potência (PF)	0,54
Fator de Crista	3,84	1,39	Cos ϕ (DPF)	0,92

FORMAS DE ONDA:



ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:

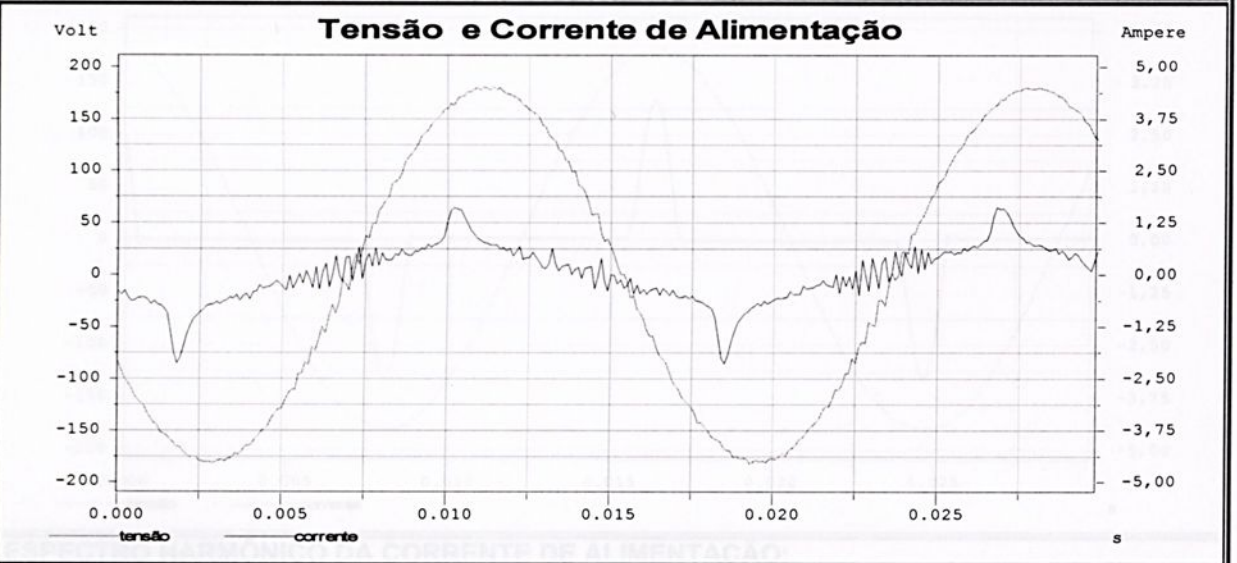


Fabricante	C	Fator de Potência	≥0,92	
Origem		THD%	< 32	
Lâmpadas	2 x 40 W	Luminosidade		
Tensão	127 V	Tonalidade de cor		
Frequência	50/60 Hz	Vida útil		
Potência	76 W			

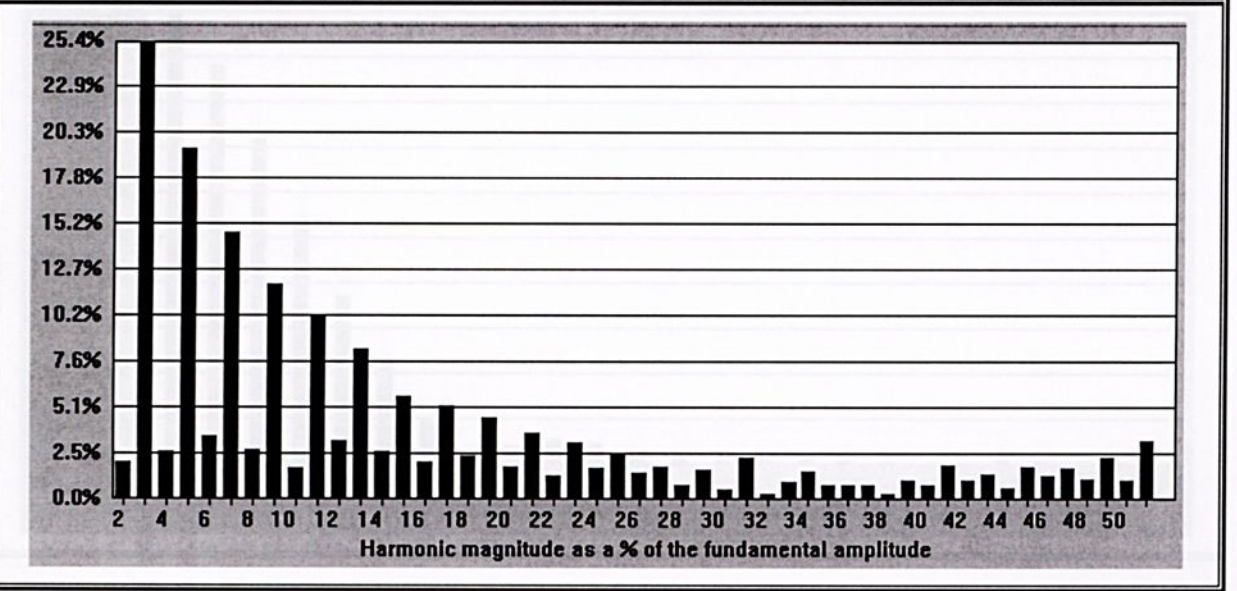
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

	Corrente	Tensão	Potência Ativa	73,80 W
Rms	0,67 A	127 V	Potência Aparente	88,30 VA
Pico	1,62 A	178 V	Potência Reativa	48,50 Var
THD	42,7 %	0,58 %	Fator de Potência (PF)	0,84
Fator de Crista	2,42	1,40	Cos φ (DPF)	0,95

FORMAS DE ONDA:



ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:

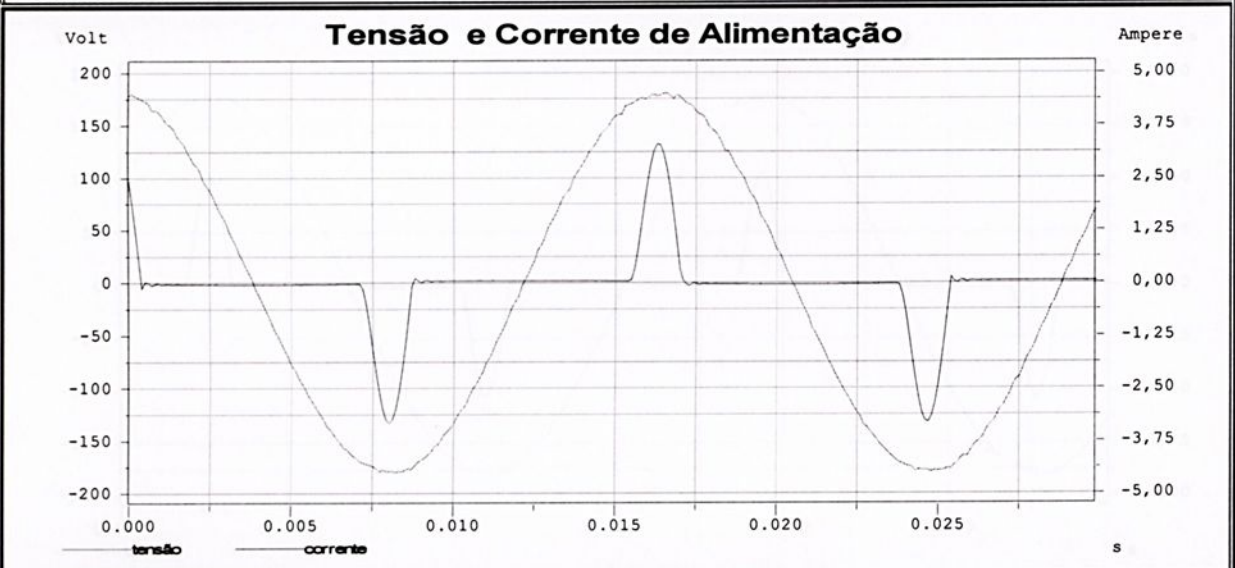


Fabricante		Fator de Potência		
Origem		THD%		
Modelo		Luminosidade		
Tensão	100-240 V	Tonalidade de cor		
Frequência	50/60 Hz	Vida útil		
Potência				

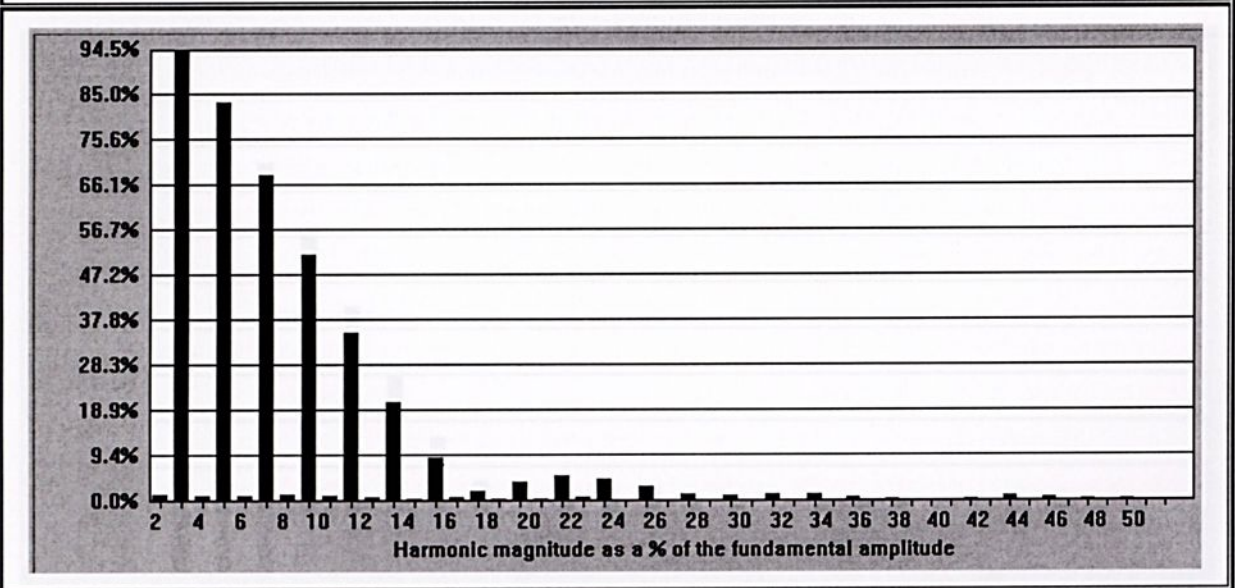
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

	Corrente	Tensão	Potência Ativa	67,1 W
Rms	0,98 A	127 V	Potência Aparente	124,0 VA
Pico	3,42 A	178 V	Potência Reativa	104,0 Var
THD	158,68 %	0,76 %	Fator de Potência (PF)	0,54
Fator de Crista	3,49	1,40	Cos ϕ (DPF)	1,00

FORMAS DE ONDA:



ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:

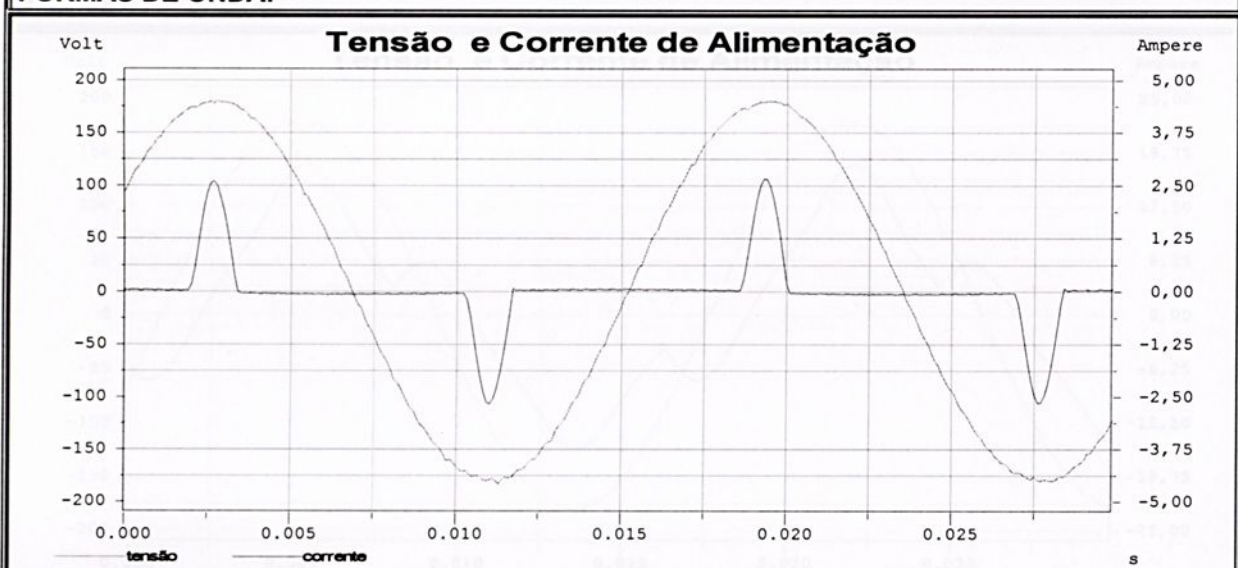


Fabricante		Fator de Potência		
Origem		THD%		
Modelo	PC 350-P166	Luminosidade		
Tensão	115/230 V	Tonalidade de cor		
Frequência	60 Hz	Vida útil		
Potência				

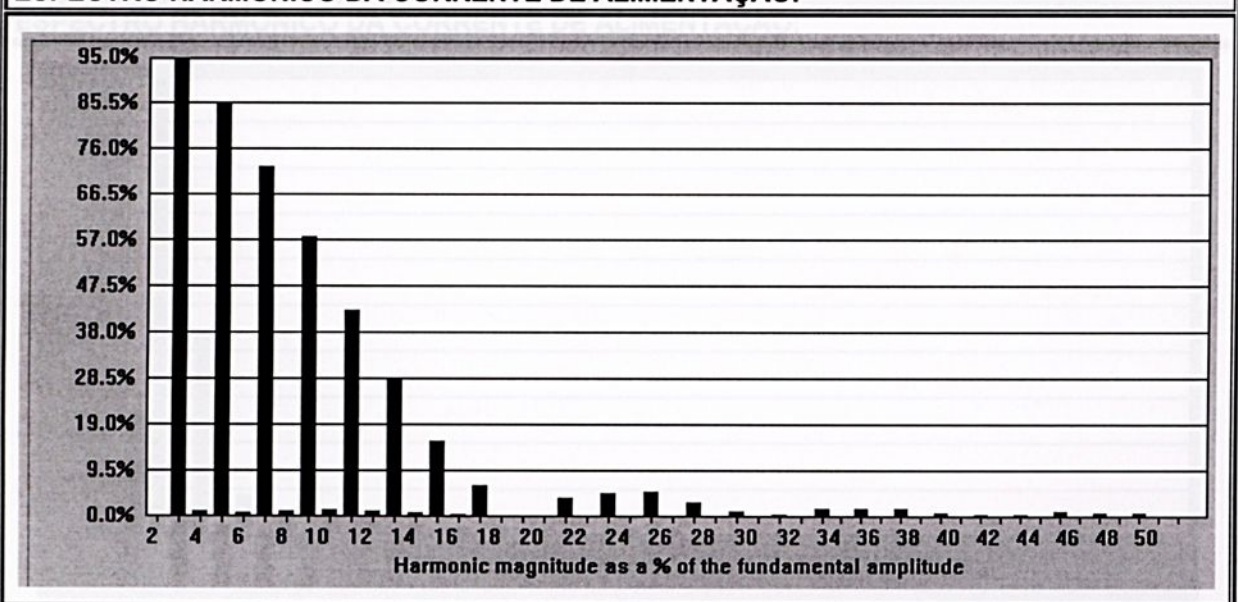
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

	Corrente	Tensão	Potência Ativa	49,1 W
Rms	0,74 A	127 V	Potência Aparente	98,0 VA
Pico	2,74 A	178 V	Potência Reativa	84,9 Var
THD	167,7 %	0,62 %	Fator de Potência (PF)	0,50
Fator de Crista	3,70	1,40	Cos ϕ (DPF)	0,94

FORMAS DE ONDA:

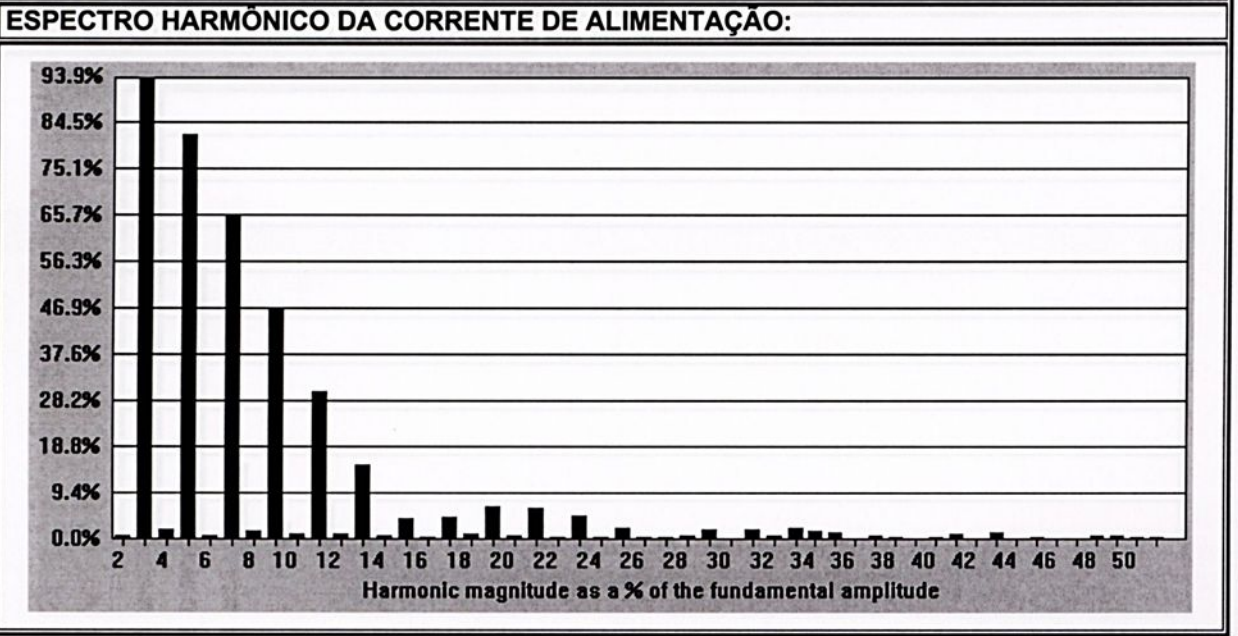
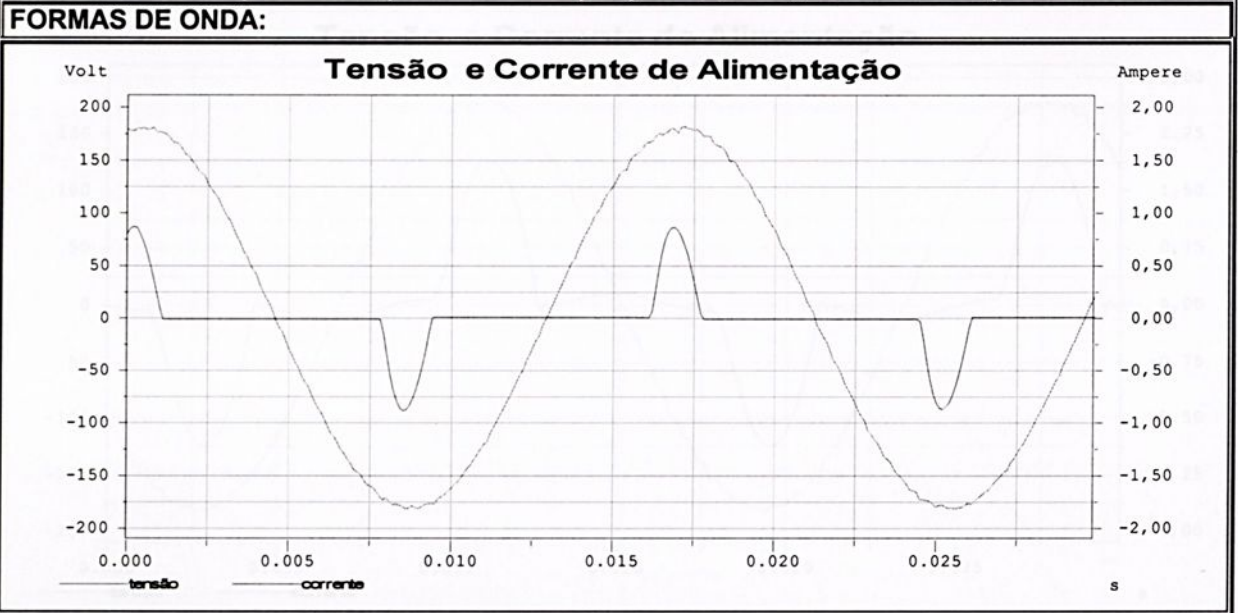


ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:

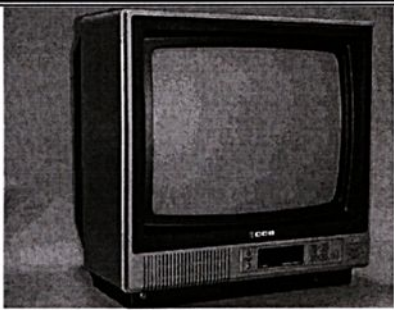


Fabricante		Fator de Potência		
Origem		THD%		
Modelo		Luminosidade		
Tensão	100-240 V	Tonalidade de cor		
Frequência	50/60 Hz	Vida útil		
Potência	23 W			

RESULTADOS EXPERIMENTAIS					
	Corrente	Tensão		Potência Ativa	19,20 W
Rms	0,27 A	127 V		Potência Aparente	35,00 VA
Pico	0,86 A	178 V		Potência Reativa	29,30 Var
THD	153,5 %	0,81 %		Fator de Potência (PF)	0,55
Fator de Crista	3,19	1,40		Cos ϕ (DPF)	0,99



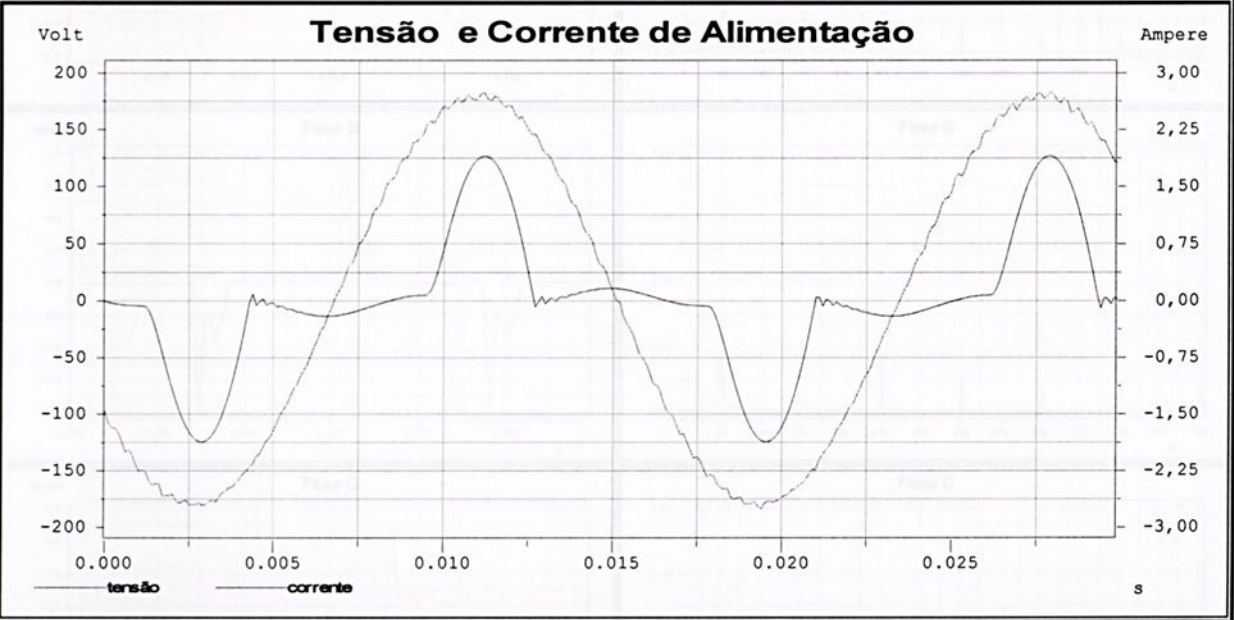
Fabricante		Fator de Potência	
Origem		THD%	
Modelo		Luminosidade	
Tensão	110/220 V	Tonalidade de cor	
Frequência	60 Hz	Vida útil	
Potência	76 W		



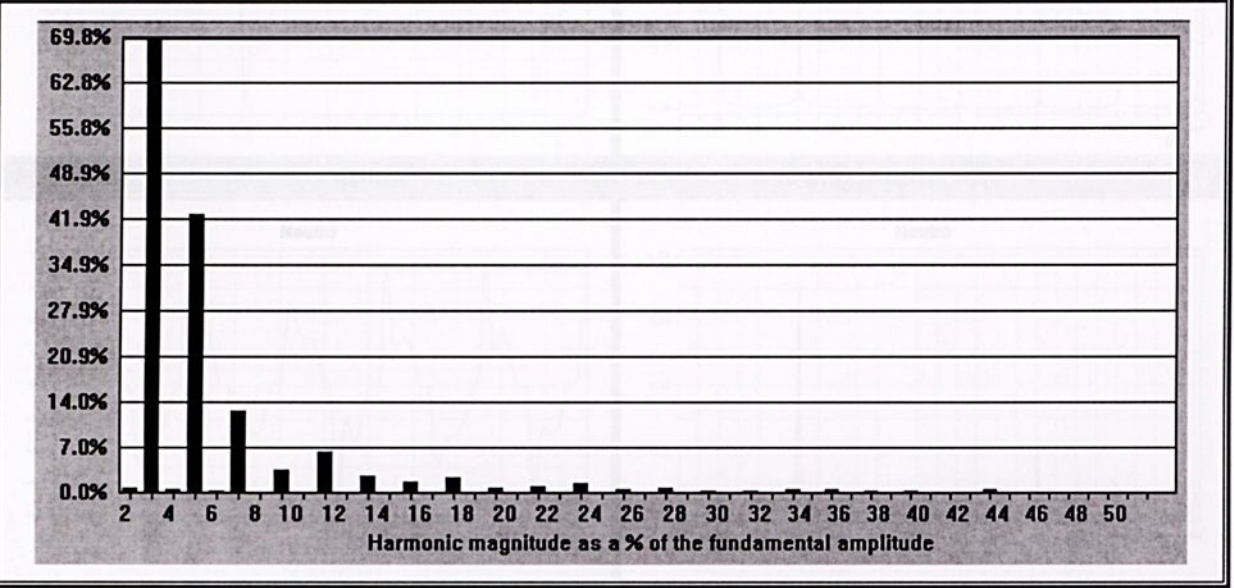
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

	Corrente	Tensão	Potência Ativa	76,1 W
Rms	0,79 A	127 V	Potência Aparente	100 VA
Pico	1,84 V	176 V	Potência Reativa	64,9 Var
THD	83,53 %	0,69 %	Fator de Potência (PF)	0,76
Fator de Crista	2,33	1,39	Cos φ (DPF)	0,98

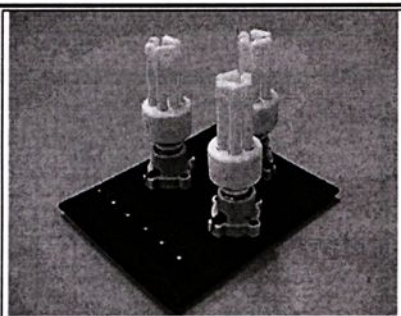
FORMAS DE ONDA:



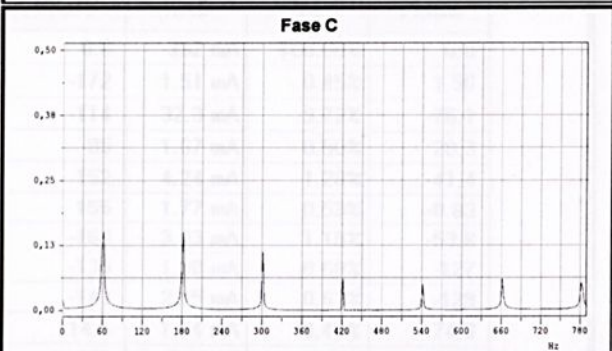
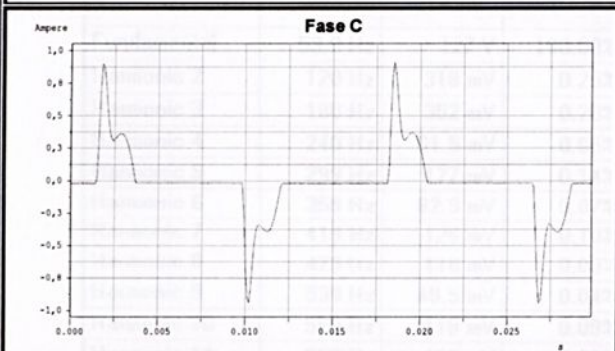
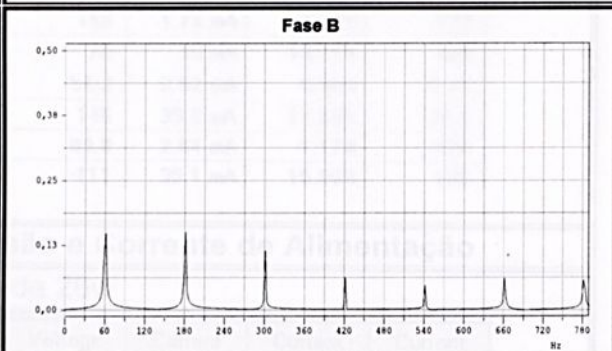
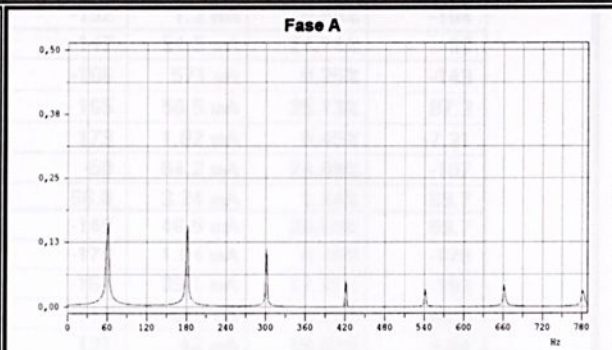
ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO:



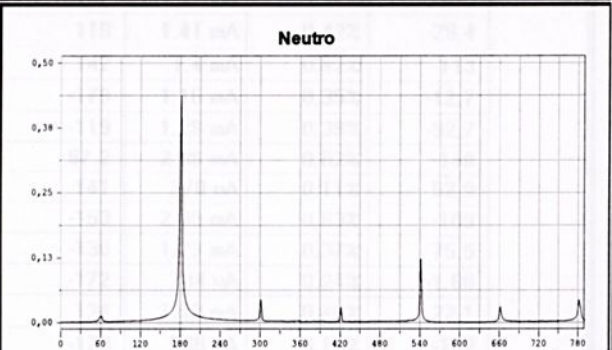
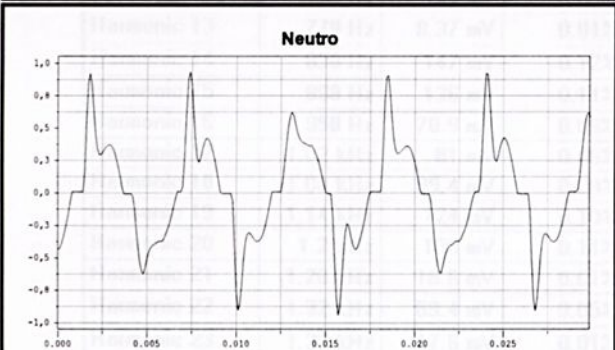
Fabricante		Correntes	RMS
Origem		Fase A	0,24
Modelo		Fase B	0,23
Tensão	127 V (rede)	Fase C	0,24
Frequência	50/60 Hz	Neutro	0,39
Potência	3 x 15W		



FORMAS DE ONDA DAS CORRENTES NAS LINHAS E ESPECTROS HARMÔNICOS:



FORMAS DE ONDA DAS CORRENTES NO NEUTRO E ESPECTRO HARMÔNICO



Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Lâmpada Fluorescente Compacta 27w

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	225 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	240 mV	0.19%	165	500 uA	0.22%	171
Harmonic 3	180 Hz	473 mV	0.37%	-123	190 mA	84.61%	159
Harmonic 4	240 Hz	192 mV	0.15%	-149	2.54 mA	1.13%	-35.4
Harmonic 5	299 Hz	143 mV	0.11%	-165	135 mA	60.04%	-19.3
Harmonic 6	359 Hz	187 mV	0.15%	-108	158 uA	0.07%	91.8
Harmonic 7	419 Hz	146 mV	0.11%	123	83.3 mA	37.03%	150
Harmonic 8	479 Hz	117 mV	0.09%	-152	1.3 mA	0.58%	-104
Harmonic 9	539 Hz	50 mV	0.04%	-147	54.3 mA	24.14%	-63
Harmonic 10	599 Hz	245 mV	0.19%	-166	571 uA	0.25%	-143
Harmonic 11	659 Hz	153 mV	0.12%	165	56.5 mA	25.13%	87.3
Harmonic 12	719 Hz	70.5 mV	0.06%	179	1.02 mA	0.45%	-7.31
Harmonic 13	778 Hz	42.2 mV	0.03%	-50	54.2 mA	24.09%	-107
Harmonic 14	838 Hz	17.4 mV	0.01%	66.8	3.24 mA	1.44%	69.7
Harmonic 15	898 Hz	81.5 mV	0.06%	-145	46.5 mA	20.68%	53.7
Harmonic 16	958 Hz	101 mV	0.08%	-178	1.04 mA	0.46%	-179
Harmonic 17	1.02 kHz	26.4 mV	0.02%	-161	39.1 mA	17.40%	-153
Harmonic 18	1.08 kHz	80 mV	0.06%	-112	513 uA	0.23%	83.5
Harmonic 19	1.14 kHz	93.3 mV	0.07%	131	42 mA	18.67%	4.84
Harmonic 20	1.2 kHz	145 mV	0.11%	146	1.74 mA	0.77%	172
Harmonic 21	1.26 kHz	86.3 mV	0.07%	70	43 mA	19.11%	168
Harmonic 22	1.32 kHz	78.4 mV	0.06%	54.2	2.02 mA	0.90%	-9.75
Harmonic 23	1.38 kHz	67.4 mV	0.05%	146	39.8 mA	17.69%	-24.5
Harmonic 24	1.44 kHz	50.9 mV	0.04%	89.8	2.64 mA	1.17%	-176
Harmonic 25	1.5 kHz	208 mV	0.16%	-111	35.1 mA	15.60%	136

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Lâmpada 26w

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	332 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	310 mV	0.25%	-172	1.51 mA	0.45%	1.96
Harmonic 3	180 Hz	352 mV	0.28%	-114	32.3 mA	9.72%	-76.1
Harmonic 4	240 Hz	61.5 mV	0.05%	-95	1.67 mA	0.50%	28.3
Harmonic 5	299 Hz	177 mV	0.14%	152	4.24 mA	1.28%	-41.4
Harmonic 6	359 Hz	82.9 mV	0.07%	155	1.77 mA	0.53%	-8.83
Harmonic 7	419 Hz	126 mV	0.10%	-160	3.93 mA	1.18%	-53.8
Harmonic 8	479 Hz	116 mV	0.09%	-139	1.98 mA	0.60%	-127
Harmonic 9	539 Hz	48.9 mV	0.04%	-143	2.05 mA	0.62%	-129
Harmonic 10	599 Hz	118 mV	0.09%	-14.5	1.64 mA	0.49%	74.3
Harmonic 11	659 Hz	115 mV	0.09%	-171	888 uA	0.27%	-85.5
Harmonic 12	719 Hz	120 mV	0.09%	132	1.47 mA	0.44%	-148
Harmonic 13	778 Hz	8.37 mV	0.01%	110	1.41 mA	0.42%	-29.4
Harmonic 14	838 Hz	147 mV	0.12%	142	1.4 mA	0.42%	113
Harmonic 15	898 Hz	136 mV	0.11%	-179	1.16 mA	0.35%	-12.7
Harmonic 16	958 Hz	70.9 mV	0.06%	-119	1.28 mA	0.39%	-92.7
Harmonic 17	1.02 kHz	81 mV	0.06%	97.2	2.06 mA	0.62%	-140
Harmonic 18	1.08 kHz	99.4 mV	0.08%	141	378 uA	0.11%	52.9
Harmonic 19	1.14 kHz	124 mV	0.10%	-153	2.09 mA	0.63%	-109
Harmonic 20	1.2 kHz	139 mV	0.11%	-130	1.23 mA	0.37%	75.5
Harmonic 21	1.26 kHz	18.6 mV	0.01%	-172	784 uA	0.24%	-1.88
Harmonic 22	1.32 kHz	69.4 mV	0.05%	134	1.52 mA	0.46%	22.1
Harmonic 23	1.38 kHz	17.6 mV	0.01%	-173	505 uA	0.15%	-162
Harmonic 24	1.44 kHz	114 mV	0.09%	-165	2.04 mA	0.61%	-55.4
Harmonic 25	1.5 kHz	52.6 mV	0.04%	-162	772 uA	0.23%	-66.3

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Lâmpada Compacta 23W

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	214 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	330 mV	0.26%	-176	1.15 mA	0.54%	98.9
Harmonic 3	180 Hz	533 mV	0.42%	-102	200 mA	93.41%	169
Harmonic 4	240 Hz	122 mV	0.10%	-169	3.03 mA	1.42%	-32.4
Harmonic 5	299 Hz	68.5 mV	0.05%	161	176 mA	82.00%	-5.82
Harmonic 6	359 Hz	80.4 mV	0.06%	-129	4.62 mA	2.16%	-174
Harmonic 7	419 Hz	284 mV	0.22%	-164	144 mA	67.19%	177
Harmonic 8	479 Hz	60.8 mV	0.05%	132	3.16 mA	1.48%	16.4
Harmonic 9	539 Hz	108 mV	0.09%	-41	109 mA	50.98%	-2.85
Harmonic 10	599 Hz	94.5 mV	0.07%	-81	4.44 mA	2.08%	151
Harmonic 11	659 Hz	111 mV	0.09%	106	78.7 mA	36.77%	170
Harmonic 12	719 Hz	24.9 mV	0.02%	82.1	2.8 mA	1.31%	-15.2
Harmonic 13	778 Hz	100 mV	0.08%	135	58.6 mA	27.39%	-23.7
Harmonic 14	838 Hz	84.3 mV	0.07%	160	1.8 mA	0.84%	-165
Harmonic 15	898 Hz	22.2 mV	0.02%	134	49.3 mA	23.03%	138
Harmonic 16	958 Hz	73.3 mV	0.06%	125	943 uA	0.44%	-95.9
Harmonic 17	1.02 kHz	98.6 mV	0.08%	115	48.1 mA	22.45%	-59
Harmonic 18	1.08 kHz	94.7 mV	0.07%	-133	2.61 mA	1.22%	114
Harmonic 19	1.14 kHz	41.4 mV	0.03%	-90.2	46.6 mA	21.78%	112
Harmonic 20	1.2 kHz	50.4 mV	0.04%	-157	2.15 mA	1.01%	-102
Harmonic 21	1.26 kHz	96.5 mV	0.08%	26.2	40.7 mA	19.01%	-75
Harmonic 22	1.32 kHz	77 mV	0.06%	57.8	3.24 mA	1.51%	106
Harmonic 23	1.38 kHz	142 mV	0.11%	-177	34.9 mA	16.32%	98.7
Harmonic 24	1.44 kHz	49.7 mV	0.04%	-10.3	1.31 mA	0.61%	-75.1
Harmonic 25	1.5 kHz	87 mV	0.07%	-75.5	27.8 mA	13.00%	-92.9

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Lâmpada Compacta 15 W

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	144 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	400 mV	0.31%	165	1.97 mA	1.37%	128
Harmonic 3	180 Hz	410 mV	0.32%	-119	134 mA	93.17%	166
Harmonic 4	240 Hz	229 mV	0.18%	-92.4	531 uA	0.37%	-37.6
Harmonic 5	299 Hz	137 mV	0.11%	101	119 mA	82.90%	-12.9
Harmonic 6	359 Hz	63.3 mV	0.05%	139	1.83 mA	1.28%	-175
Harmonic 7	419 Hz	221 mV	0.17%	-178	97.9 mA	68.09%	168
Harmonic 8	479 Hz	152 mV	0.12%	-137	3.76 mA	2.61%	24.1
Harmonic 9	539 Hz	56.6 mV	0.04%	-90.1	76.4 mA	53.13%	-13.8
Harmonic 10	599 Hz	10.8 mV	0.01%	94.5	2.24 mA	1.56%	173
Harmonic 11	659 Hz	167 mV	0.13%	142	53.5 mA	37.17%	157
Harmonic 12	719 Hz	88.9 mV	0.07%	-174	2.95 mA	2.05%	348 m
Harmonic 13	778 Hz	148 mV	0.12%	174	41.4 mA	28.78%	-42.3
Harmonic 14	838 Hz	116 mV	0.09%	139	1.78 mA	1.24%	110
Harmonic 15	898 Hz	96.5 mV	0.08%	-68.2	33.7 mA	23.44%	117
Harmonic 16	958 Hz	60 mV	0.05%	-77.6	1.51 mA	1.05%	-61.6
Harmonic 17	1.02 kHz	93.8 mV	0.07%	-177	32.6 mA	22.66%	-81.8
Harmonic 18	1.08 kHz	113 mV	0.09%	-160	4.27 mA	2.97%	85.6
Harmonic 19	1.14 kHz	9.95 mV	0.01%	83.1	31.6 mA	22.01%	86.3
Harmonic 20	1.2 kHz	45 mV	0.04%	47.3	2.63 mA	1.83%	-88.1
Harmonic 21	1.26 kHz	59.3 mV	0.05%	50.9	30.8 mA	21.40%	-109
Harmonic 22	1.32 kHz	124 mV	0.10%	147	2.85 mA	1.98%	74
Harmonic 23	1.38 kHz	69.7 mV	0.05%	-151	27.9 mA	19.43%	65.1
Harmonic 24	1.44 kHz	54.5 mV	0.04%	-80.3	2.52 mA	1.75%	-113
Harmonic 25	1.5 kHz	97.3 mV	0.08%	-42.3	21.4 mA	14.89%	-133

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: : Lâmpada 16w

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	60 Hz	127 V	100.00%	0.0	136 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	81.4 mV	0.06%	88	1.49 mA	1.10%	171
Harmonic 3	180 Hz	319 mV	0.25%	-99.5	121 mA	89.29%	164
Harmonic 4	240 Hz	211 mV	0.17%	-120	679 uA	0.50%	85.2
Harmonic 5	300 Hz	110 mV	0.09%	-104	96 mA	70.77%	-12.1
Harmonic 6	360 Hz	26 mV	0.02%	-155	1.7 mA	1.25%	158
Harmonic 7	420 Hz	82.2 mV	0.06%	151	67.9 mA	50.05%	167
Harmonic 8	480 Hz	57.3 mV	0.05%	110	555 uA	0.41%	177
Harmonic 9	540 Hz	47.7 mV	0.04%	-55	40 mA	29.51%	-21.2
Harmonic 10	600 Hz	122 mV	0.10%	120	1.08 mA	0.80%	70.8
Harmonic 11	660 Hz	80.5 mV	0.06%	116	28.1 mA	20.75%	129
Harmonic 12	720 Hz	112 mV	0.09%	128	1.72 mA	1.27%	147
Harmonic 13	780 Hz	116 mV	0.09%	-168	23.3 mA	17.14%	-81.1
Harmonic 14	840 Hz	29.5 mV	0.02%	88.8	1.25 mA	0.92%	74.8
Harmonic 15	900 Hz	101 mV	0.08%	-121	22.2 mA	16.39%	84.3
Harmonic 16	960 Hz	52.2 mV	0.04%	-115	595 uA	0.44%	-30.1
Harmonic 17	1.02 kHz	28 mV	0.02%	-43.5	19.2 mA	14.12%	-111
Harmonic 18	1.08 kHz	190 mV	0.15%	-81.9	1.94 mA	1.43%	56.8
Harmonic 19	1.14 kHz	152 mV	0.12%	157	15.4 mA	11.38%	47.2
Harmonic 20	1.2 kHz	167 mV	0.13%	95.5	2.32 mA	1.71%	-53.3
Harmonic 21	1.26 kHz	142 mV	0.11%	-113	11.6 mA	8.58%	-161
Harmonic 22	1.32 kHz	132 mV	0.10%	143	3.43 mA	2.53%	-59.9
Harmonic 23	1.38 kHz	46.2 mV	0.04%	-87.3	9.72 mA	7.17%	-7.44
Harmonic 24	1.44 kHz	29.4 mV	0.02%	57.2	1.58 mA	1.16%	90.5
Harmonic 25	1.5 kHz	14 mV	0.01%	-63.1	10.5 mA	7.77%	158

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Lâmpada Espiral 11w/130V

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	60 Hz	127 V	100.00%	0.0	90.5 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	108 mV	0.08%	-176	1.17 mA	1.29%	-65.4
Harmonic 3	180 Hz	349 mV	0.27%	-87	79.9 mA	88.29%	167
Harmonic 4	240 Hz	149 mV	0.12%	-88.2	1.09 mA	1.21%	41.2
Harmonic 5	300 Hz	6.83 mV	0.01%	-51.6	61.8 mA	68.25%	-4.24
Harmonic 6	360 Hz	45.5 mV	0.04%	116	560 uA	0.62%	118
Harmonic 7	420 Hz	115 mV	0.09%	126	39.8 mA	43.98%	174
Harmonic 8	480 Hz	48.9 mV	0.04%	-174	409 uA	0.45%	-85.7
Harmonic 9	540 Hz	118 mV	0.09%	105	24.7 mA	27.29%	-24.4
Harmonic 10	600 Hz	221 mV	0.17%	152	1.31 mA	1.44%	94.3
Harmonic 11	660 Hz	29.2 mV	0.02%	-19.1	20.6 mA	22.76%	130
Harmonic 12	720 Hz	52.4 mV	0.04%	-105	943 uA	1.04%	-76.3
Harmonic 13	780 Hz	152 mV	0.12%	-19.9	20.8 mA	22.94%	-68
Harmonic 14	840 Hz	134 mV	0.11%	-112	961 uA	1.06%	-50.7
Harmonic 15	900 Hz	108 mV	0.09%	-175	21.5 mA	23.78%	100
Harmonic 16	960 Hz	39.3 mV	0.03%	-125	2.1 mA	2.32%	-65.4
Harmonic 17	1.02 kHz	65.2 mV	0.05%	-52.4	18.6 mA	20.60%	-93.2
Harmonic 18	1.08 kHz	44.3 mV	0.03%	128	1.75 mA	1.93%	127
Harmonic 19	1.14 kHz	43.4 mV	0.03%	167	17 mA	18.75%	66.6
Harmonic 20	1.2 kHz	52.6 mV	0.04%	172	1.61 mA	1.78%	-66.4
Harmonic 21	1.26 kHz	81.9 mV	0.06%	-136	15.4 mA	16.97%	-126
Harmonic 22	1.32 kHz	83.8 mV	0.07%	108	218 uA	0.24%	32.1
Harmonic 23	1.38 kHz	168 mV	0.13%	-111	14.6 mA	16.17%	42.5
Harmonic 24	1.44 kHz	75.3 mV	0.06%	5.14	1.09 mA	1.21%	113
Harmonic 25	1.5 kHz	41.6 mV	0.03%	-34.4	15.1 mA	16.72%	-157

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Lâmpada Compacta 10w

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	76.9 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	368 mV	0.29%	170	1.13 mA	1.47%	149
Harmonic 3	180 Hz	426 mV	0.34%	-106	69.5 mA	90.32%	159
Harmonic 4	240 Hz	154 mV	0.12%	-126	938 uA	1.22%	-79.9
Harmonic 5	299 Hz	161 mV	0.13%	-159	55.8 mA	72.52%	-17
Harmonic 6	359 Hz	46.6 mV	0.04%	91.8	1.21 mA	1.57%	90.4
Harmonic 7	419 Hz	120 mV	0.09%	-149	37.1 mA	48.28%	159
Harmonic 8	479 Hz	104 mV	0.08%	-98.8	607 uA	0.79%	-101
Harmonic 9	539 Hz	123 mV	0.10%	-179	24.7 mA	32.10%	-34
Harmonic 10	599 Hz	53.8 mV	0.04%	-157	1.68 mA	2.19%	45.3
Harmonic 11	659 Hz	120 mV	0.09%	106	18.2 mA	23.71%	116
Harmonic 12	719 Hz	108 mV	0.09%	-113	1.29 mA	1.68%	-31.3
Harmonic 13	778 Hz	44.5 mV	0.04%	142	17.8 mA	23.20%	-88.9
Harmonic 14	838 Hz	161 mV	0.13%	38.7	976 uA	1.27%	1.66
Harmonic 15	898 Hz	92.6 mV	0.07%	161	15.7 mA	20.46%	82.6
Harmonic 16	958 Hz	78.9 mV	0.06%	-84.5	705 uA	0.92%	-82
Harmonic 17	1.02 kHz	56.4 mV	0.04%	-166	12.6 mA	16.33%	-121
Harmonic 18	1.08 kHz	148 mV	0.12%	-144	1.16 mA	1.51%	4.21
Harmonic 19	1.14 kHz	9.15 mV	0.01%	-153	12.3 mA	15.98%	46.9
Harmonic 20	1.2 kHz	145 mV	0.11%	-38.9	788 uA	1.02%	-175
Harmonic 21	1.26 kHz	10 mV	0.01%	25.9	9.76 mA	12.68%	-160
Harmonic 22	1.32 kHz	82.3 mV	0.06%	32.3	1.29 mA	1.67%	-3.88
Harmonic 23	1.38 kHz	110 mV	0.09%	149	9.63 mA	12.51%	-2.30
Harmonic 24	1.44 kHz	212 mV	0.17%	175	347 uA	0.45%	12.7
Harmonic 25	1.5 kHz	62.8 mV	0.05%	160	9.39 mA	12.20%	167

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Reator Eletr. A - 2x32W-127V

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	60 Hz	127 V	100.00%	0.0	525 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	191 mV	0.15%	129	2.94 mA	0.56%	70.1
Harmonic 3	180 Hz	598 mV	0.47%	-105	447 mA	85.06%	155
Harmonic 4	240 Hz	196 mV	0.15%	-89.9	4.44 mA	0.85%	-88.1
Harmonic 5	300 Hz	95.5 mV	0.07%	-32.7	313 mA	59.70%	-26
Harmonic 6	360 Hz	80.9 mV	0.06%	-80.2	5.42 mA	1.03%	115
Harmonic 7	420 Hz	206 mV	0.16%	153	185 mA	35.14%	140
Harmonic 8	480 Hz	4.71 mV	0.00%	-78	4.63 mA	0.88%	-86.6
Harmonic 9	540 Hz	52.1 mV	0.04%	89.1	117 mA	22.38%	-77.1
Harmonic 10	600 Hz	79.8 mV	0.06%	-165	4.99 mA	0.95%	82.5
Harmonic 11	660 Hz	92.2 mV	0.07%	-179	114 mA	21.69%	68.2
Harmonic 12	720 Hz	73.6 mV	0.06%	-120	4.33 mA	0.82%	-134
Harmonic 13	780 Hz	40.4 mV	0.03%	-847 m	108 mA	20.59%	-133
Harmonic 14	840 Hz	86.9 mV	0.07%	138	3.37 mA	0.64%	39.2
Harmonic 15	900 Hz	173 mV	0.14%	72.7	85.5 mA	16.29%	23.9
Harmonic 16	960 Hz	43.5 mV	0.03%	-31.4	3.87 mA	0.74%	167
Harmonic 17	1.02 kHz	149 mV	0.12%	170	73.5 mA	13.99%	171
Harmonic 18	1.08 kHz	99.2 mV	0.08%	-132	8.95 mA	1.70%	-45.6
Harmonic 19	1.14 kHz	59.2 mV	0.05%	-18.6	76.1 mA	14.49%	-36.7
Harmonic 20	1.2 kHz	109 mV	0.09%	34.1	4.11 mA	0.78%	135
Harmonic 21	1.26 kHz	30.6 mV	0.02%	-63.4	71.2 mA	13.55%	121
Harmonic 22	1.32 kHz	108 mV	0.08%	136	5.16 mA	0.98%	-71.1
Harmonic 23	1.38 kHz	160 mV	0.13%	160	63.4 mA	12.08%	-84.8
Harmonic 24	1.44 kHz	168 mV	0.13%	-679 m	4.03 mA	0.77%	109
Harmonic 25	1.5 kHz	126 mV	0.10%	145	58.5 mA	11.15%	70.7

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Reator Eletr. A - 2x32W-220V

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	60 Hz	220 V	100.00%	0.0	265 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	611 mV	0.28%	105	233 uA	0.09%	37.2
Harmonic 3	180 Hz	749 mV	0.34%	-73.9	244 mA	92.03%	164
Harmonic 4	240 Hz	29.5 mV	0.01%	76	1.87 mA	0.70%	-35.7
Harmonic 5	300 Hz	39.7 mV	0.02%	-119	200 mA	75.40%	-13.1
Harmonic 6	360 Hz	105 mV	0.05%	-152	5.2 mA	1.97%	162
Harmonic 7	420 Hz	73.5 mV	0.03%	143	148 mA	55.81%	167
Harmonic 8	480 Hz	58.6 mV	0.03%	-119	1.63 mA	0.62%	-24
Harmonic 9	540 Hz	212 mV	0.10%	-120	95.4 mA	36.04%	-23
Harmonic 10	600 Hz	144 mV	0.07%	159	3.51 mA	1.33%	168
Harmonic 11	660 Hz	123 mV	0.06%	138	67.6 mA	25.55%	136
Harmonic 12	720 Hz	68.5 mV	0.03%	118	674 uA	0.25%	-53.8
Harmonic 13	780 Hz	42.4 mV	0.02%	137	57.2 mA	21.62%	-73
Harmonic 14	840 Hz	129 mV	0.06%	-136	2.89 mA	1.09%	105
Harmonic 15	900 Hz	4.13 mV	0.00%	-15.8	57.9 mA	21.87%	87.8
Harmonic 16	960 Hz	107 mV	0.05%	-133	3.51 mA	1.32%	-71.6
Harmonic 17	1.02 kHz	58.7 mV	0.03%	153	50.7 mA	19.15%	-108
Harmonic 18	1.08 kHz	63.3 mV	0.03%	-17.4	1.59 mA	0.60%	48.3
Harmonic 19	1.14 kHz	161 mV	0.07%	163	46 mA	17.36%	55.3
Harmonic 20	1.2 kHz	136 mV	0.06%	4.73	2.43 mA	0.92%	-175
Harmonic 21	1.26 kHz	103 mV	0.00%	-159	30.3 mA	14.46%	-143
Harmonic 22	1.32 kHz	73.4 mV	0.03%	150	3.59 mA	1.36%	-11.2
Harmonic 23	1.38 kHz	33 mV	0.01%	29.8	36.6 mA	13.83%	14.5
Harmonic 24	1.44 kHz	37.6 mV	0.02%	-136	4.14 mA	1.56%	116
Harmonic 25	1.5 kHz	127 mV	0.06%	130	37.2 mA	14.06%	172

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Reator Eletr. A - 2x40W-127V

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	568 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	390 mV	0.31%	164	4.33 mA	0.76%	163
Harmonic 3	180 Hz	646 mV	0.51%	-115	471 mA	82.97%	153
Harmonic 4	240 Hz	261 mV	0.21%	-143	9.33 mA	1.64%	-50.7
Harmonic 5	299 Hz	83.6 mV	0.07%	-112	310 mA	54.59%	-27.8
Harmonic 6	359 Hz	135 mV	0.11%	-87.5	5.73 mA	1.01%	136
Harmonic 7	419 Hz	91.1 mV	0.07%	107	168 mA	29.58%	134
Harmonic 8	479 Hz	139 mV	0.11%	126	5.4 mA	0.95%	-79
Harmonic 9	539 Hz	102 mV	0.08%	166	122 mA	21.50%	-90.3
Harmonic 10	599 Hz	95.3 mV	0.08%	-158	6.62 mA	1.17%	66.6
Harmonic 11	659 Hz	207 mV	0.16%	165	124 mA	21.76%	60.1
Harmonic 12	719 Hz	127 mV	0.10%	-170	5.99 mA	1.05%	-143
Harmonic 13	778 Hz	52.6 mV	0.04%	175	104 mA	18.26%	-140
Harmonic 14	838 Hz	48.1 mV	0.04%	55.8	7.65 mA	1.35%	21.6
Harmonic 15	898 Hz	215 mV	0.17%	113	79.9 mA	14.06%	10.5
Harmonic 16	958 Hz	103 mV	0.08%	-53.3	10.1 mA	1.78%	172
Harmonic 17	1.02 kHz	67.6 mV	0.05%	-92.6	76.3 mA	13.43%	156
Harmonic 18	1.08 kHz	114 mV	0.09%	110	7.51 mA	1.32%	-11
Harmonic 19	1.14 kHz	229 mV	0.18%	-176	76 mA	13.38%	-48.8
Harmonic 20	1.2 kHz	235 mV	0.18%	133	5.3 mA	0.93%	138
Harmonic 21	1.26 kHz	97.1 mV	0.08%	-31.7	69.6 mA	12.26%	108
Harmonic 22	1.32 kHz	32.3 mV	0.03%	82.8	11.5 mA	2.03%	-77.2
Harmonic 23	1.38 kHz	81.3 mV	0.06%	-6.3	62.2 mA	10.96%	-105
Harmonic 24	1.44 kHz	142 mV	0.11%	-66.2	5.39 mA	0.95%	81.7
Harmonic 25	1.5 kHz	72.5 mV	0.06%	-151	63.9 mA	11.26%	48.4

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Reator Eletr. A - 2x40W-220V

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	60 Hz	220 V	100.00%	0.0	291 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	671 mV	0.31%	107	2.92 mA	1.00%	70
Harmonic 3	180 Hz	708 mV	0.32%	-67.3	263 mA	90.23%	162
Harmonic 4	240 Hz	219 mV	0.10%	-162	1.84 mA	0.63%	-41.6
Harmonic 5	300 Hz	89.9 mV	0.04%	103	209 mA	71.61%	-16.3
Harmonic 6	360 Hz	132 mV	0.06%	174	1.18 mA	0.41%	90
Harmonic 7	420 Hz	125 mV	0.06%	-171	146 mA	50.08%	162
Harmonic 8	480 Hz	107 mV	0.05%	-170	3.02 mA	1.04%	11.7
Harmonic 9	540 Hz	240 mV	0.11%	-110	91.2 mA	31.29%	-33.5
Harmonic 10	600 Hz	71 mV	0.03%	-36.2	2.1 mA	0.72%	110
Harmonic 11	660 Hz	103 mV	0.05%	-55.2	66.5 mA	22.81%	117
Harmonic 12	720 Hz	132 mV	0.06%	-39.8	1.89 mA	0.65%	-105
Harmonic 13	780 Hz	130 mV	0.06%	163	63.5 mA	21.78%	-92.3
Harmonic 14	840 Hz	151 mV	0.07%	-110	2.14 mA	0.73%	-149
Harmonic 15	900 Hz	72.2 mV	0.03%	-57.1	63.6 mA	21.84%	70.3
Harmonic 16	960 Hz	26.4 mV	0.01%	78.1	559 uA	0.19%	-145
Harmonic 17	1.02 kHz	114 mV	0.05%	80.8	55.4 mA	19.01%	-126
Harmonic 18	1.08 kHz	141 mV	0.06%	-158	1.45 mA	0.50%	33.5
Harmonic 19	1.14 kHz	23 mV	0.01%	-68.7	43 mA	14.74%	32.5
Harmonic 20	1.2 kHz	67.7 mV	0.03%	157	2.83 mA	0.97%	-180
Harmonic 21	1.26 kHz	117 mV	0.05%	-107	40.5 mA	13.90%	-172
Harmonic 22	1.32 kHz	118 mV	0.05%	-68.2	855 uA	0.29%	-33.8
Harmonic 23	1.38 kHz	172 mV	0.08%	-6.08	41.2 mA	14.13%	-16.3
Harmonic 24	1.44 kHz	134 mV	0.06%	-92.4	3.48 mA	1.19%	-109
Harmonic 25	1.5 kHz	88.2 mV	0.04%	163	35.9 mA	12.32%	147

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Reator Eletr. B - 2x40W-127V

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	628 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	453 mV	0.36%	164	13.9 mA	2.21%	118
Harmonic 3	180 Hz	508 mV	0.40%	-124	440 mA	70.02%	142
Harmonic 4	240 Hz	170 mV	0.13%	-161	18.3 mA	2.91%	-65.7
Harmonic 5	299 Hz	210 mV	0.17%	-161	197 mA	31.31%	-55.8
Harmonic 6	359 Hz	172 mV	0.14%	-165	17.2 mA	2.73%	80.1
Harmonic 7	419 Hz	128 mV	0.10%	-177	125 mA	19.83%	60.3
Harmonic 8	479 Hz	104 mV	0.08%	-165	19.8 mA	3.16%	-143
Harmonic 9	539 Hz	42.7 mV	0.03%	58.7	116 mA	18.51%	-154
Harmonic 10	599 Hz	107 mV	0.08%	-169	12.4 mA	1.97%	-9.56
Harmonic 11	659 Hz	132 mV	0.10%	148	79.9 mA	12.72%	-10.1
Harmonic 12	719 Hz	68.8 mV	0.05%	102	16.6 mA	2.64%	138
Harmonic 13	778 Hz	168 mV	0.13%	96.6	76.2 mA	12.13%	113
Harmonic 14	838 Hz	199 mV	0.16%	138	18.2 mA	2.90%	-98.2
Harmonic 15	898 Hz	190 mV	0.15%	-148	63.6 mA	10.13%	-108
Harmonic 16	958 Hz	87.5 mV	0.07%	-114	15.6 mA	2.48%	32.7
Harmonic 17	1.02 kHz	157 mV	0.12%	168	55.4 mA	8.81%	22.2
Harmonic 18	1.08 kHz	207 mV	0.16%	39.3	18.2 mA	2.90%	-180
Harmonic 19	1.14 kHz	55.5 mV	0.04%	94	51.9 mA	8.27%	163
Harmonic 20	1.2 kHz	107 mV	0.08%	80.6	15.3 mA	2.43%	-44
Harmonic 21	1.26 kHz	76.9 mV	0.06%	160	46.5 mA	7.41%	-60.3
Harmonic 22	1.32 kHz	56.4 mV	0.04%	92.3	18.7 mA	2.98%	91.6
Harmonic 23	1.38 kHz	104 mV	0.08%	29.1	37.6 mA	5.99%	71.5
Harmonic 24	1.44 kHz	120 mV	0.09%	147	17.5 mA	2.79%	-132
Harmonic 25	1.5 kHz	65.2 mV	0.05%	101	35.7 mA	5.68%	-145

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Reator Eletromagnético 2x40W-127V

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	783 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	360 mV	0.28%	175	3.45 mA	0.44%	146
Harmonic 3	180 Hz	459 mV	0.36%	-110	118 mA	15.11%	116
Harmonic 4	240 Hz	190 mV	0.15%	-143	2.87 mA	0.37%	-159
Harmonic 5	299 Hz	244 mV	0.19%	-163	79.5 mA	10.15%	120
Harmonic 6	359 Hz	68.1 mV	0.05%	-150	2.36 mA	0.30%	-116
Harmonic 7	419 Hz	51.9 mV	0.04%	-133	17.4 mA	2.22%	62.1
Harmonic 8	479 Hz	86 mV	0.07%	-161	1.02 mA	0.13%	-87.3
Harmonic 9	539 Hz	47.4 mV	0.04%	80.7	13.2 mA	1.69%	14.2
Harmonic 10	599 Hz	43.4 mV	0.03%	-127	664 uA	0.08%	95.9
Harmonic 11	659 Hz	23.6 mV	0.02%	130	7.48 mA	0.96%	-49.5
Harmonic 12	719 Hz	96.1 mV	0.08%	-131	1.13 mA	0.14%	150
Harmonic 13	778 Hz	80.8 mV	0.06%	139	6.62 mA	0.84%	-104
Harmonic 14	838 Hz	102 mV	0.08%	-3.03	2.01 mA	0.26%	103
Harmonic 15	898 Hz	47.1 mV	0.04%	-87.8	3.37 mA	0.43%	-162
Harmonic 16	958 Hz	139 mV	0.11%	-101	363 uA	0.05%	103
Harmonic 17	1.02 kHz	93.4 mV	0.07%	-134	2.43 mA	0.31%	139
Harmonic 18	1.08 kHz	243 mV	0.19%	-146	1.14 mA	0.15%	-165
Harmonic 19	1.14 kHz	73.2 mV	0.06%	-178	2.39 mA	0.31%	107
Harmonic 20	1.2 kHz	136 mV	0.11%	121	507 uA	0.06%	102
Harmonic 21	1.26 kHz	77 mV	0.06%	121	1.53 mA	0.19%	44.6
Harmonic 22	1.32 kHz	128 mV	0.10%	135	337 uA	0.04%	-6.9
Harmonic 23	1.38 kHz	80.1 mV	0.06%	173	3.19 mA	0.41%	7.98
Harmonic 24	1.44 kHz	89.1 mV	0.07%	130	621 uA	0.08%	104
Harmonic 25	1.5 kHz	45.8 mV	0.04%	-149	875 uA	0.11%	-12.6

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Reator Eletr. B - 2x40W-220V

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	220 V	100.00%	0.0	318 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	833 mV	0.38%	139	3.21 mA	1.01%	177
Harmonic 3	180 Hz	658 mV	0.30%	-88.1	262 mA	82.52%	155
Harmonic 4	240 Hz	148 mV	0.07%	147	3.35 mA	1.05%	-2.54
Harmonic 5	299 Hz	289 mV	0.13%	166	173 mA	54.53%	-26.3
Harmonic 6	359 Hz	190 mV	0.09%	-145	3.04 mA	0.96%	168
Harmonic 7	419 Hz	252 mV	0.11%	-164	94.6 mA	29.78%	135
Harmonic 8	479 Hz	157 mV	0.07%	-146	2.53 mA	0.80%	-35.1
Harmonic 9	539 Hz	15.3 mV	0.01%	106	66.4 mA	20.09%	-88.6
Harmonic 10	599 Hz	51.3 mV	0.02%	-111	2.34 mA	0.73%	83.6
Harmonic 11	659 Hz	131 mV	0.06%	-149	65.5 mA	20.60%	61.7
Harmonic 12	719 Hz	73.3 mV	0.03%	-120	2.48 mA	0.78%	-112
Harmonic 13	778 Hz	193 mV	0.09%	-170	54.7 mA	17.21%	-140
Harmonic 14	838 Hz	68.2 mV	0.03%	76.1	1.8 mA	0.57%	35.5
Harmonic 15	898 Hz	90.3 mV	0.04%	83.9	41.7 mA	13.12%	7.88
Harmonic 16	958 Hz	63.1 mV	0.03%	132	2.67 mA	0.84%	164
Harmonic 17	1.02 kHz	201 mV	0.09%	-161	39.6 mA	12.46%	152
Harmonic 18	1.08 kHz	152 mV	0.07%	-153	3.51 mA	1.10%	-41.7
Harmonic 19	1.14 kHz	139 mV	0.06%	-101	36.4 mA	11.47%	-54.2
Harmonic 20	1.2 kHz	190 mV	0.09%	-123	3.67 mA	1.16%	126
Harmonic 21	1.26 kHz	186 mV	0.08%	-131	29.8 mA	9.38%	98.1
Harmonic 22	1.32 kHz	185 mV	0.08%	-97	3.09 mA	0.97%	-69
Harmonic 23	1.38 kHz	208 mV	0.09%	165	27 mA	8.48%	-118
Harmonic 24	1.44 kHz	159 mV	0.07%	166	2.41 mA	0.76%	110
Harmonic 25	1.5 kHz	192 mV	0.09%	-131	26.8 mA	8.43%	31.5

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Reator Eletr. C - 2x40W-127V

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	60 Hz	127 V	100.00%	0.0	602 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	266 mV	0.21%	157	13.2 mA	2.19%	78.7
Harmonic 3	180 Hz	421 mV	0.33%	-106	153 mA	25.41%	160
Harmonic 4	240 Hz	127 mV	0.10%	-66.6	16.4 mA	2.73%	-163
Harmonic 5	300 Hz	88.7 mV	0.07%	-173	118 mA	19.56%	-22.3
Harmonic 6	360 Hz	111 mV	0.09%	-163	21.9 mA	3.64%	26.9
Harmonic 7	420 Hz	113 mV	0.09%	170	89.6 mA	14.89%	138
Harmonic 8	480 Hz	60.7 mV	0.05%	-127	17.3 mA	2.87%	-157
Harmonic 9	540 Hz	108 mV	0.09%	-34.4	72 mA	11.96%	-40.1
Harmonic 10	600 Hz	88.7 mV	0.07%	173	11.1 mA	1.84%	-8.79
Harmonic 11	660 Hz	125 mV	0.10%	172	61.9 mA	10.29%	130
Harmonic 12	720 Hz	42.1 mV	0.03%	54.1	20 mA	3.33%	176
Harmonic 13	780 Hz	49.1 mV	0.04%	-17.7	50.6 mA	8.41%	-59.2
Harmonic 14	840 Hz	91.2 mV	0.07%	157	16.6 mA	2.77%	-2.44
Harmonic 15	900 Hz	92 mV	0.07%	-117	35 mA	5.82%	110
Harmonic 16	960 Hz	65.5 mV	0.05%	-162	13.1 mA	2.18%	129
Harmonic 17	1.02 kHz	41.6 mV	0.03%	-109	31.6 mA	5.25%	-76.3
Harmonic 18	1.08 kHz	98.9 mV	0.08%	165	14.8 mA	2.46%	-31.3
Harmonic 19	1.14 kHz	33.6 mV	0.03%	12.8	27.5 mA	4.57%	93.8
Harmonic 20	1.2 kHz	71.1 mV	0.06%	-33.1	11.7 mA	1.94%	155
Harmonic 21	1.26 kHz	78 mV	0.06%	58.4	22.5 mA	3.75%	-120
Harmonic 22	1.32 kHz	107 mV	0.08%	54.8	8.35 mA	1.39%	-57.7
Harmonic 23	1.38 kHz	58 mV	0.05%	-67.3	19.7 mA	3.27%	55.6
Harmonic 24	1.44 kHz	107 mV	0.08%	117	11.2 mA	1.85%	135
Harmonic 25	1.5 kHz	80.9 mV	0.06%	-124	15.8 mA	2.62%	-147

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Monitor

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	518 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	316 mV	0.25%	163	8.98 mA	1.73%	-108
Harmonic 3	180 Hz	468 mV	0.37%	-94.5	490 mA	94.46%	-174
Harmonic 4	240 Hz	201 mV	0.16%	-140	7.7 mA	1.49%	55.2
Harmonic 5	299 Hz	320 mV	0.25%	125	434 mA	83.64%	14.4
Harmonic 6	359 Hz	84.9 mV	0.07%	-158	8.07 mA	1.56%	-118
Harmonic 7	419 Hz	99.6 mV	0.08%	-110	354 mA	68.39%	-158
Harmonic 8	479 Hz	35 mV	0.03%	133	8.79 mA	1.70%	57.6
Harmonic 9	539 Hz	217 mV	0.17%	126	268 mA	51.76%	31.2
Harmonic 10	599 Hz	143 mV	0.11%	-163	7.5 mA	1.45%	-92.7
Harmonic 11	659 Hz	180 mV	0.14%	-59.3	183 mA	35.36%	-140
Harmonic 12	719 Hz	142 mV	0.11%	146	6.34 mA	1.22%	96.6
Harmonic 13	778 Hz	188 mV	0.15%	120	108 mA	20.91%	51.5
Harmonic 14	838 Hz	92.2 mV	0.07%	-169	4.41 mA	0.85%	-60.2
Harmonic 15	898 Hz	38.8 mV	0.03%	-66.1	48.6 mA	9.38%	-111
Harmonic 16	958 Hz	66.7 mV	0.05%	-95	6.03 mA	1.16%	129
Harmonic 17	1.02 kHz	68.5 mV	0.05%	89.6	12.1 mA	2.33%	131
Harmonic 18	1.08 kHz	105 mV	0.08%	152	3.94 mA	0.76%	-5.26
Harmonic 19	1.14 kHz	178 mV	0.14%	177	22.7 mA	4.38%	41.7
Harmonic 20	1.2 kHz	38.7 mV	0.03%	22.3	4.36 mA	0.84%	-162
Harmonic 21	1.26 kHz	123 mV	0.10%	-112	28.2 mA	5.45%	-114
Harmonic 22	1.32 kHz	170 mV	0.13%	164	6.17 mA	1.19%	8.72
Harmonic 23	1.38 kHz	88.9 mV	0.07%	80.7	26.1 mA	5.04%	85.4
Harmonic 24	1.44 kHz	14 mV	0.01%	-3.89	2.24 mA	0.43%	176
Harmonic 25	1.5 kHz	36.1 mV	0.03%	-66.1	17.1 mA	3.29%	-79.1

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Cpu PC 350-P166

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	60 Hz	127 V	100.00%	0.0	381 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	175 mV	0.14%	162	1.95 mA	0.51%	42.7
Harmonic 3	180 Hz	383 mV	0.30%	-85.4	362 mA	95.03%	-170
Harmonic 4	240 Hz	150 mV	0.12%	-139	5.6 mA	1.47%	-146
Harmonic 5	300 Hz	160 mV	0.13%	129	326 mA	85.60%	23
Harmonic 6	360 Hz	124 mV	0.10%	-121	4.59 mA	1.20%	37.3
Harmonic 7	420 Hz	115 mV	0.09%	-20.7	278 mA	72.83%	-145
Harmonic 8	480 Hz	179 mV	0.14%	71	5.59 mA	1.47%	-119
Harmonic 9	540 Hz	192 mV	0.15%	105	221 mA	57.99%	47.1
Harmonic 10	600 Hz	61.8 mV	0.05%	-167	7.11 mA	1.86%	51.5
Harmonic 11	660 Hz	109 mV	0.09%	-68.1	164 mA	42.95%	-119
Harmonic 12	720 Hz	78 mV	0.06%	-147	6.03 mA	1.58%	-105
Harmonic 13	780 Hz	103 mV	0.08%	101	110 mA	28.78%	73.1
Harmonic 14	840 Hz	49.4 mV	0.04%	135	4.8 mA	1.26%	60.3
Harmonic 15	900 Hz	162 mV	0.13%	-98.2	61.1 mA	16.02%	-94
Harmonic 16	960 Hz	37.1 mV	0.03%	-105	2.87 mA	0.75%	-111
Harmonic 17	1.02 kHz	113 mV	0.09%	76.4	25.4 mA	6.68%	99.9
Harmonic 18	1.08 kHz	39.4 mV	0.03%	80	491 uA	0.13%	-25.9
Harmonic 19	1.14 kHz	19.4 mV	0.02%	125	1.53 mA	0.40%	56.7
Harmonic 20	1.2 kHz	40.2 mV	0.03%	179	1.34 mA	0.35%	142
Harmonic 21	1.26 kHz	50.8 mV	0.04%	-40.7	16.2 mA	4.24%	-60.1
Harmonic 22	1.32 kHz	60.4 mV	0.05%	103	1.62 mA	0.43%	-101
Harmonic 23	1.38 kHz	104 mV	0.08%	178	20.4 mA	5.34%	136
Harmonic 24	1.44 kHz	92.8 mV	0.07%	-58.3	1.53 mA	0.40%	-137
Harmonic 25	1.5 kHz	64.2 mV	0.05%	103	21 mA	5.51%	-27.9

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Microondas (multiplicar Corrente RMS por 10)

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	909 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	316 mV	0.25%	167	66.3 mA	7.29%	-90.5
Harmonic 3	180 Hz	669 mV	0.53%	-116	245 mA	26.99%	127
Harmonic 4	240 Hz	211 mV	0.17%	-132	15.7 mA	1.73%	123
Harmonic 5	299 Hz	348 mV	0.27%	-171	110 mA	12.12%	7.01
Harmonic 6	359 Hz	74.3 mV	0.06%	163	6.44 mA	0.71%	-139
Harmonic 7	419 Hz	157 mV	0.12%	-130	22.3 mA	2.45%	1.37
Harmonic 8	479 Hz	67.9 mV	0.05%	-132	2.47 mA	0.27%	70
Harmonic 9	539 Hz	108 mV	0.09%	70.1	15 mA	1.65%	-109
Harmonic 10	599 Hz	40.8 mV	0.03%	55.6	2.41 mA	0.27%	-2.71
Harmonic 11	659 Hz	76.3 mV	0.06%	125	10.7 mA	1.17%	170
Harmonic 12	719 Hz	101 mV	0.08%	-123	1.9 mA	0.21%	-179
Harmonic 13	778 Hz	101 mV	0.08%	-62.6	8.14 mA	0.90%	81.2
Harmonic 14	838 Hz	56.3 mV	0.04%	-170	1.09 mA	0.12%	-49.5
Harmonic 15	898 Hz	87.9 mV	0.07%	146	6.31 mA	0.69%	-29.5
Harmonic 16	958 Hz	39.5 mV	0.03%	-55.6	1.35 mA	0.15%	114
Harmonic 17	1.02 kHz	29.2 mV	0.02%	-48	4.57 mA	0.50%	-89.5
Harmonic 18	1.08 kHz	128 mV	0.10%	-163	1.43 mA	0.16%	-97.4
Harmonic 19	1.14 kHz	96.7 mV	0.08%	131	3.52 mA	0.39%	165
Harmonic 20	1.2 kHz	37.7 mV	0.03%	79.7	985 uA	0.11%	-20.8
Harmonic 21	1.26 kHz	71.4 mV	0.06%	83.8	1.26 mA	0.14%	90.1
Harmonic 22	1.32 kHz	54.9 mV	0.04%	97.3	969 uA	0.11%	139
Harmonic 23	1.38 kHz	164 mV	0.13%	96.8	1.47 mA	0.16%	-74.8
Harmonic 24	1.44 kHz	41.4 mV	0.03%	178	1.51 mA	0.17%	168
Harmonic 25	1.5 kHz	27.9 mV	0.02%	-178	2.81 mA	0.31%	-163

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Vídeo Cassete

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	147 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	514 mV	0.40%	173	1.47 mA	1.00%	-133
Harmonic 3	180 Hz	438 mV	0.34%	-94.6	138 mA	93.88%	180
Harmonic 4	240 Hz	344 mV	0.27%	-112	3.57 mA	2.42%	58.6
Harmonic 5	299 Hz	143 mV	0.11%	-167	121 mA	82.33%	6.99
Harmonic 6	359 Hz	148 mV	0.12%	-168	1.42 mA	0.97%	139
Harmonic 7	419 Hz	297 mV	0.23%	-129	97.1 mA	65.93%	-168
Harmonic 8	479 Hz	54.2 mV	0.04%	-27.3	3.2 mA	2.17%	4.28
Harmonic 9	539 Hz	82.5 mV	0.06%	150	69.4 mA	47.09%	20.1
Harmonic 10	599 Hz	114 mV	0.09%	168	2.07 mA	1.41%	167
Harmonic 11	659 Hz	107 mV	0.08%	-139	45 mA	30.53%	-157
Harmonic 12	719 Hz	59.8 mV	0.05%	-156	1.9 mA	1.29%	36
Harmonic 13	778 Hz	49.3 mV	0.04%	89.8	22.8 mA	15.50%	26.4
Harmonic 14	838 Hz	129 mV	0.10%	114	1.63 mA	1.11%	-138
Harmonic 15	898 Hz	123 mV	0.10%	167	6.59 mA	4.48%	-176
Harmonic 16	958 Hz	138 mV	0.11%	-68.7	1.15 mA	0.78%	-169
Harmonic 17	1.02 kHz	29.4 mV	0.02%	143	7.33 mA	4.97%	-93.7
Harmonic 18	1.08 kHz	58.7 mV	0.05%	139	1.87 mA	1.27%	115
Harmonic 19	1.14 kHz	60.6 mV	0.05%	83.5	10.2 mA	6.91%	84.6
Harmonic 20	1.2 kHz	117 mV	0.09%	-160	1.66 mA	1.13%	-83.8
Harmonic 21	1.26 kHz	83.3 mV	0.07%	146	9.9 mA	6.72%	-108
Harmonic 22	1.32 kHz	136 mV	0.11%	108	1.17 mA	0.79%	43.2
Harmonic 23	1.38 kHz	7.97 mV	0.01%	18	7.77 mA	5.27%	73.1
Harmonic 24	1.44 kHz	106 mV	0.08%	134	1.19 mA	0.81%	-119
Harmonic 25	1.5 kHz	163 mV	0.13%	99.7	3.71 mA	2.52%	-93.1

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Televisão 14"

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	601 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	310 mV	0.24%	167	5.93 mA	0.99%	-169
Harmonic 3	180 Hz	475 mV	0.37%	-97	420 mA	69.81%	165
Harmonic 4	240 Hz	167 mV	0.13%	-126	5.2 mA	0.86%	-19.4
Harmonic 5	299 Hz	190 mV	0.15%	163	258 mA	42.94%	-14.5
Harmonic 6	359 Hz	82.7 mV	0.07%	-90.6	3.42 mA	0.57%	144
Harmonic 7	419 Hz	118 mV	0.09%	-137	78.2 mA	13.00%	161
Harmonic 8	479 Hz	110 mV	0.09%	111	884 uA	0.15%	6.54
Harmonic 9	539 Hz	60.2 mV	0.05%	164	22.7 mA	3.78%	116
Harmonic 10	599 Hz	89.9 mV	0.07%	-137	1.73 mA	0.29%	-115
Harmonic 11	659 Hz	56.3 mV	0.04%	-151	39.7 mA	6.61%	-52.5
Harmonic 12	719 Hz	64.3 mV	0.05%	111	2.41 mA	0.40%	113
Harmonic 13	778 Hz	27.2 mV	0.02%	115	17.2 mA	2.86%	140
Harmonic 14	838 Hz	107 mV	0.08%	116	1.01 mA	0.17%	49.3
Harmonic 15	898 Hz	21.7 mV	0.02%	119	11.8 mA	1.96%	67.1
Harmonic 16	958 Hz	57.7 mV	0.05%	89.4	841 uA	0.14%	-44.4
Harmonic 17	1.02 kHz	15.2 mV	0.01%	171	15.8 mA	2.63%	-93.9
Harmonic 18	1.08 kHz	80.2 mV	0.06%	-167	2.31 mA	0.38%	148
Harmonic 19	1.14 kHz	167 mV	0.13%	139	5.83 mA	0.97%	134
Harmonic 20	1.2 kHz	69.4 mV	0.05%	122	923 uA	0.15%	11.9
Harmonic 21	1.26 kHz	126 mV	0.10%	-39.8	7.61 mA	1.27%	23.2
Harmonic 22	1.32 kHz	64.4 mV	0.05%	104	504 uA	0.08%	-170
Harmonic 23	1.38 kHz	86.8 mV	0.07%	167	9.96 mA	1.66%	-124
Harmonic 24	1.44 kHz	102 mV	0.08%	20.6	1.55 mA	0.26%	62.5
Harmonic 25	1.5 kHz	64.1 mV	0.05%	151	4.34 mA	0.72%	109

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Dimmer a 100%

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	866 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	401 mV	0.32%	173	1.39 mA	0.16%	140
Harmonic 3	180 Hz	440 mV	0.35%	-119	15.2 mA	1.75%	114
Harmonic 4	240 Hz	210 mV	0.17%	-144	1.97 mA	0.23%	130
Harmonic 5	299 Hz	126 mV	0.10%	179	13.3 mA	1.54%	146
Harmonic 6	359 Hz	11.9 mV	0.01%	-133	1.49 mA	0.17%	-152
Harmonic 7	419 Hz	100 mV	0.08%	91.2	16 mA	1.85%	167
Harmonic 8	479 Hz	151 mV	0.12%	178	1.6 mA	0.18%	-175
Harmonic 9	539 Hz	96.5 mV	0.08%	-149	13.9 mA	1.60%	-174
Harmonic 10	599 Hz	231 mV	0.18%	-149	1.25 mA	0.14%	-48.6
Harmonic 11	659 Hz	122 mV	0.10%	-150	12.2 mA	1.41%	-155
Harmonic 12	719 Hz	41.6 mV	0.03%	125	1.63 mA	0.19%	-104
Harmonic 13	778 Hz	11.6 mV	0.01%	117	11.7 mA	1.35%	-133
Harmonic 14	838 Hz	56.6 mV	0.04%	-137	1.65 mA	0.19%	-40.5
Harmonic 15	898 Hz	127 mV	0.10%	5.29	10.4 mA	1.20%	-112
Harmonic 16	958 Hz	104 mV	0.08%	107	948 uA	0.11%	-131
Harmonic 17	1.02 kHz	52.6 mV	0.04%	-165	9.64 mA	1.11%	-88.7
Harmonic 18	1.08 kHz	44.3 mV	0.03%	-158	1 mA	0.12%	-33.5
Harmonic 19	1.14 kHz	52 mV	0.04%	16.9	8.11 mA	0.94%	-60.2
Harmonic 20	1.2 kHz	95.9 mV	0.08%	57	233 uA	0.03%	109
Harmonic 21	1.26 kHz	57.6 mV	0.05%	-114	7.11 mA	0.82%	-44.9
Harmonic 22	1.32 kHz	34.7 mV	0.03%	-112	1.22 mA	0.14%	-105
Harmonic 23	1.38 kHz	51.7 mV	0.04%	89.6	4.71 mA	0.54%	-30.9
Harmonic 24	1.44 kHz	72.5 mV	0.06%	-109	622 uA	0.07%	-132
Harmonic 25	1.5 kHz	149 mV	0.12%	179	4.54 mA	0.52%	18.6

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Dimmer a 90%

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	774 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	253 mV	0.20%	165	6.61 mA	0.85%	148
Harmonic 3	180 Hz	483 mV	0.38%	-87.8	205 mA	26.47%	176
Harmonic 4	240 Hz	174 mV	0.14%	-135	1.04 mA	0.13%	-67.2
Harmonic 5	299 Hz	149 mV	0.12%	157	126 mA	16.24%	-125
Harmonic 6	359 Hz	119 mV	0.09%	-162	1.37 mA	0.18%	-35.1
Harmonic 7	419 Hz	136 mV	0.11%	-154	62.1 mA	8.02%	-40.4
Harmonic 8	479 Hz	118 mV	0.09%	-131	2.44 mA	0.31%	127
Harmonic 9	539 Hz	50.8 mV	0.04%	-131	53.7 mA	6.93%	61.7
Harmonic 10	599 Hz	53.3 mV	0.04%	74.8	2.36 mA	0.30%	-173
Harmonic 11	659 Hz	50.2 mV	0.04%	-133	49.4 mA	6.38%	142
Harmonic 12	719 Hz	53.5 mV	0.04%	30.4	2.41 mA	0.31%	-91.9
Harmonic 13	778 Hz	156 mV	0.12%	159	35.3 mA	4.55%	-135
Harmonic 14	838 Hz	78.1 mV	0.06%	142	3.02 mA	0.39%	1.23
Harmonic 15	898 Hz	55.6 mV	0.04%	170	31.5 mA	4.06%	-35.9
Harmonic 16	958 Hz	13.9 mV	0.01%	-140	1.44 mA	0.19%	69.3
Harmonic 17	1.02 kHz	43.9 mV	0.03%	176	30.2 mA	3.90%	49.7
Harmonic 18	1.08 kHz	50 mV	0.04%	144	1.74 mA	0.22%	167
Harmonic 19	1.14 kHz	112 mV	0.09%	-176	25 mA	3.22%	132
Harmonic 20	1.2 kHz	77.4 mV	0.06%	-116	2.6 mA	0.34%	-74.6
Harmonic 21	1.26 kHz	40.4 mV	0.03%	-9.5	22.1 mA	2.85%	-132
Harmonic 22	1.32 kHz	142 mV	0.11%	50.3	1.77 mA	0.23%	-26.7
Harmonic 23	1.38 kHz	20.7 mV	0.02%	-135	22.1 mA	2.86%	-43.2
Harmonic 24	1.44 kHz	112 mV	0.09%	-54.9	2.11 mA	0.27%	102
Harmonic 25	1.5 kHz	39.4 mV	0.03%	66	18.1 mA	2.34%	42.7

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Dimmer a 80%

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	688 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	330 mV	0.26%	167	8.13 mA	1.18%	-152
Harmonic 3	180 Hz	341 mV	0.27%	-87.4	286 mA	41.54%	-166
Harmonic 4	240 Hz	134 mV	0.11%	-162	4.64 mA	0.67%	-29.5
Harmonic 5	299 Hz	180 mV	0.14%	167	116 mA	16.81%	-81.8
Harmonic 6	359 Hz	12.9 mV	0.01%	-28.4	6.44 mA	0.94%	65.7
Harmonic 7	419 Hz	68.7 mV	0.05%	148	86.7 mA	12.60%	45
Harmonic 8	479 Hz	136 mV	0.11%	152	5.65 mA	0.82%	173
Harmonic 9	539 Hz	55 mV	0.04%	50.2	71 mA	10.32%	137
Harmonic 10	599 Hz	90.8 mV	0.07%	-129	5.39 mA	0.78%	-77.8
Harmonic 11	659 Hz	58.3 mV	0.05%	-141	49.5 mA	7.19%	-110
Harmonic 12	719 Hz	68.3 mV	0.05%	-13.2	5.38 mA	0.78%	24.9
Harmonic 13	778 Hz	54.6 mV	0.04%	-146	48.9 mA	7.10%	-4.48
Harmonic 14	838 Hz	33.8 mV	0.03%	-120	5.77 mA	0.84%	139
Harmonic 15	898 Hz	216 mV	0.17%	-168	34.9 mA	5.08%	97.3
Harmonic 16	958 Hz	52.5 mV	0.04%	41.5	4.48 mA	0.65%	-114
Harmonic 17	1.02 kHz	95 mV	0.07%	-77.5	34.1 mA	4.96%	-146
Harmonic 18	1.08 kHz	59.3 mV	0.05%	77.5	4.55 mA	0.66%	10.6
Harmonic 19	1.14 kHz	108 mV	0.08%	142	27.7 mA	4.02%	-47.1
Harmonic 20	1.2 kHz	113 mV	0.09%	128	5.3 mA	0.77%	104
Harmonic 21	1.26 kHz	93.7 mV	0.07%	27	27.9 mA	4.05%	65.5
Harmonic 22	1.32 kHz	90.9 mV	0.07%	168	5.31 mA	0.77%	-156
Harmonic 23	1.38 kHz	70.2 mV	0.06%	85.3	23.7 mA	3.44%	166
Harmonic 24	1.44 kHz	59.1 mV	0.05%	-168	5.31 mA	0.77%	-43.7
Harmonic 25	1.5 kHz	107 mV	0.08%	-92.8	21.9 mA	3.18%	-82.5

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Dimmer a 70%

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	604 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	296 mV	0.23%	145	10 mA	1.66%	-136
Harmonic 3	180 Hz	282 mV	0.22%	-90.6	324 mA	53.63%	-152
Harmonic 4	240 Hz	160 mV	0.13%	-169	8.72 mA	1.44%	-4.29
Harmonic 5	299 Hz	214 mV	0.17%	-146	107 mA	17.80%	-32
Harmonic 6	359 Hz	79.4 mV	0.06%	168	7.72 mA	1.28%	105
Harmonic 7	419 Hz	68.3 mV	0.05%	-102	106 mA	17.52%	87.4
Harmonic 8	479 Hz	107 mV	0.08%	113	8.85 mA	1.47%	-125
Harmonic 9	539 Hz	156 mV	0.12%	-179	63.5 mA	10.51%	-153
Harmonic 10	599 Hz	79.9 mV	0.06%	101	9.06 mA	1.50%	-3.97
Harmonic 11	659 Hz	71.3 mV	0.06%	-152	63.3 mA	10.49%	-34.8
Harmonic 12	719 Hz	93.1 mV	0.07%	121	8.43 mA	1.40%	110
Harmonic 13	778 Hz	40.9 mV	0.03%	-175	44.5 mA	7.38%	86.1
Harmonic 14	838 Hz	47.8 mV	0.04%	112	9.76 mA	1.62%	-130
Harmonic 15	898 Hz	31.8 mV	0.03%	-52.1	44.1 mA	7.30%	-155
Harmonic 16	958 Hz	69.3 mV	0.05%	145	8.69 mA	1.44%	-14.2
Harmonic 17	1.02 kHz	140 mV	0.11%	-140	32.2 mA	5.33%	-34.1
Harmonic 18	1.08 kHz	60.4 mV	0.05%	130	7.21 mA	1.19%	103
Harmonic 19	1.14 kHz	68.9 mV	0.05%	-41.5	32.9 mA	5.45%	80.8
Harmonic 20	1.2 kHz	71.7 mV	0.06%	-166	7.83 mA	1.30%	-133
Harmonic 21	1.26 kHz	69.3 mV	0.05%	55.1	26.8 mA	4.43%	-154
Harmonic 22	1.32 kHz	70.4 mV	0.06%	-117	7.69 mA	1.27%	-23.8
Harmonic 23	1.38 kHz	60.1 mV	0.05%	147	26.5 mA	4.39%	-35.1
Harmonic 24	1.44 kHz	42.4 mV	0.03%	172	8.16 mA	1.35%	101
Harmonic 25	1.5 kHz	34.7 mV	0.03%	139	21.7 mA	3.59%	85.4

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Dimmer a 60%

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	524 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	354 mV	0.28%	144	16.6 mA	3.16%	-110
Harmonic 3	180 Hz	141 mV	0.11%	-123	332 mA	63.38%	-144
Harmonic 4	240 Hz	210 mV	0.17%	-147	18.2 mA	3.47%	22
Harmonic 5	299 Hz	150 mV	0.12%	178	127 mA	24.32%	5.57
Harmonic 6	359 Hz	50.7 mV	0.04%	83.4	16.9 mA	3.23%	151
Harmonic 7	419 Hz	85.4 mV	0.07%	146	102 mA	19.42%	117
Harmonic 8	479 Hz	113 mV	0.09%	172	16.6 mA	3.17%	-78.9
Harmonic 9	539 Hz	62.6 mV	0.05%	-121	78.6 mA	14.99%	-98.2
Harmonic 10	599 Hz	169 mV	0.13%	-110	15.4 mA	2.95%	51.5
Harmonic 11	659 Hz	251 mV	0.20%	171	55.9 mA	10.67%	20
Harmonic 12	719 Hz	19.6 mV	0.02%	16.6	15.1 mA	2.89%	178
Harmonic 13	778 Hz	81.7 mV	0.06%	57.8	53.6 mA	10.22%	157
Harmonic 14	838 Hz	78.6 mV	0.06%	-157	17.1 mA	3.25%	-46.6
Harmonic 15	898 Hz	75.5 mV	0.06%	171	38.7 mA	7.38%	-75
Harmonic 16	958 Hz	117 mV	0.09%	-117	15.4 mA	2.94%	78.9
Harmonic 17	1.02 kHz	70.3 mV	0.06%	48.4	37.8 mA	7.21%	50
Harmonic 18	1.08 kHz	49 mV	0.04%	22.2	15.1 mA	2.88%	-151
Harmonic 19	1.14 kHz	88 mV	0.07%	-149	29.6 mA	5.65%	-176
Harmonic 20	1.2 kHz	66.3 mV	0.05%	25	16.3 mA	3.11%	-23
Harmonic 21	1.26 kHz	35.2 mV	0.03%	-43.8	26.2 mA	4.99%	-52.6
Harmonic 22	1.32 kHz	17.2 mV	0.01%	114	14.2 mA	2.70%	113
Harmonic 23	1.38 kHz	103 mV	0.08%	149	25.9 mA	4.93%	82.8
Harmonic 24	1.44 kHz	172 mV	0.14%	-131	15.1 mA	2.88%	-115
Harmonic 25	1.5 kHz	68.5 mV	0.05%	-164	21 mA	4.01%	-151

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Dimmer a 50%

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	449 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	324 mV	0.26%	155	16.1 mA	3.59%	-102
Harmonic 3	180 Hz	311 mV	0.24%	-87.9	322 mA	71.83%	-135
Harmonic 4	240 Hz	181 mV	0.14%	-131	16.6 mA	3.71%	44.4
Harmonic 5	299 Hz	138 mV	0.11%	-156	159 mA	35.39%	31.7
Harmonic 6	359 Hz	32.7 mV	0.03%	177	17 mA	3.79%	-179
Harmonic 7	419 Hz	156 mV	0.12%	170	86.9 mA	19.35%	156
Harmonic 8	479 Hz	63.6 mV	0.05%	-154	15.7 mA	3.50%	-42.2
Harmonic 9	539 Hz	95.4 mV	0.08%	45.5 m	85.2 mA	18.97%	-63
Harmonic 10	599 Hz	36.3 mV	0.03%	-135	16.1 mA	3.58%	101
Harmonic 11	659 Hz	92.1 mV	0.07%	-177	59 mA	13.14%	83
Harmonic 12	719 Hz	66.2 mV	0.05%	151	15.2 mA	3.38%	-123
Harmonic 13	778 Hz	30.1 mV	0.02%	-80	48.9 mA	10.88%	-149
Harmonic 14	838 Hz	43.4 mV	0.03%	162	16.1 mA	3.59%	18.7
Harmonic 15	898 Hz	57.9 mV	0.05%	-150	45.8 mA	10.20%	-4.74
Harmonic 16	958 Hz	83.6 mV	0.07%	172	15.9 mA	3.54%	157
Harmonic 17	1.02 kHz	104 mV	0.08%	-112	34.9 mA	7.78%	133
Harmonic 18	1.08 kHz	14.5 mV	0.01%	-2.52	14.1 mA	3.13%	-63.1
Harmonic 19	1.14 kHz	108 mV	0.09%	49.8	34 mA	7.58%	-94
Harmonic 20	1.2 kHz	84.3 mV	0.07%	-180	15.3 mA	3.41%	71.2
Harmonic 21	1.26 kHz	33.5 mV	0.03%	-17	29.3 mA	6.52%	51.2
Harmonic 22	1.32 kHz	88.5 mV	0.07%	-108	15.5 mA	3.46%	-149
Harmonic 23	1.38 kHz	208 mV	0.16%	177	23.6 mA	5.25%	-177
Harmonic 24	1.44 kHz	75.5 mV	0.06%	64.5	14.9 mA	3.32%	-15.2
Harmonic 25	1.5 kHz	82.3 mV	0.06%	108	22.9 mA	5.11%	-39.2

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Dimmer a 40%

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	363 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	342 mV	0.27%	179	22.4 mA	6.17%	-82.5
Harmonic 3	180 Hz	329 mV	0.26%	-123	289 mA	79.75%	-126
Harmonic 4	240 Hz	141 mV	0.11%	-120	25.8 mA	7.12%	67
Harmonic 5	299 Hz	116 mV	0.09%	-142	180 mA	49.48%	50.3
Harmonic 6	359 Hz	153 mV	0.12%	-155	24.6 mA	6.79%	-142
Harmonic 7	419 Hz	141 mV	0.11%	-140	88.7 mA	24.45%	-156
Harmonic 8	479 Hz	127 mV	0.10%	157	23.4 mA	6.45%	8.08
Harmonic 9	539 Hz	174 mV	0.14%	-179	70.9 mA	19.55%	-26.3
Harmonic 10	599 Hz	78.9 mV	0.06%	-66.3	23.7 mA	6.54%	149
Harmonic 11	659 Hz	59.8 mV	0.05%	36.5	66.3 mA	18.29%	128
Harmonic 12	719 Hz	16.8 mV	0.01%	-114	22.4 mA	6.16%	-62.8
Harmonic 13	778 Hz	32.8 mV	0.03%	-105	47.1 mA	12.99%	-77.2
Harmonic 14	838 Hz	23.1 mV	0.02%	102	21.8 mA	6.00%	84.1
Harmonic 15	898 Hz	124 mV	0.10%	103	38.3 mA	10.57%	61.3
Harmonic 16	958 Hz	74.2 mV	0.06%	27.3	22.6 mA	6.24%	-132
Harmonic 17	1.02 kHz	147 mV	0.12%	24.2	35.7 mA	9.83%	-151
Harmonic 18	1.08 kHz	148 mV	0.12%	-158	22.1 mA	6.10%	18.9
Harmonic 19	1.14 kHz	165 mV	0.13%	-109	27.7 mA	7.63%	-4.39
Harmonic 20	1.2 kHz	51.7 mV	0.04%	-169	19.1 mA	5.25%	167
Harmonic 21	1.26 kHz	73.4 mV	0.06%	151	22.2 mA	6.12%	142
Harmonic 22	1.32 kHz	60.7 mV	0.05%	-12.7	20.9 mA	5.75%	-50
Harmonic 23	1.38 kHz	80.3 mV	0.06%	-156	21.9 mA	6.04%	-77.3
Harmonic 24	1.44 kHz	72.3 mV	0.06%	18.3	19 mA	5.24%	101
Harmonic 25	1.5 kHz	85.3 mV	0.07%	-44	18.7 mA	5.16%	74.2

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Dimmer a 30%

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	127 V	100.00%	0.0	255 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	350 mV	0.28%	-166	31 mA	12.18%	-58.3
Harmonic 3	180 Hz	337 mV	0.26%	-134	225 mA	88.16%	-115
Harmonic 4	240 Hz	138 mV	0.11%	-147	30.7 mA	12.06%	98.8
Harmonic 5	299 Hz	50.4 mV	0.04%	168	171 mA	67.11%	66.8
Harmonic 6	359 Hz	139 mV	0.11%	-172	31.8 mA	12.49%	-103
Harmonic 7	419 Hz	127 mV	0.10%	-160	113 mA	44.32%	-116
Harmonic 8	479 Hz	151 mV	0.12%	165	30 mA	11.77%	56.6
Harmonic 9	539 Hz	75.3 mV	0.06%	-131	66.6 mA	26.13%	47.6
Harmonic 10	599 Hz	35.3 mV	0.03%	159	31.1 mA	12.19%	-145
Harmonic 11	659 Hz	107 mV	0.08%	-161	45.1 mA	17.69%	-167
Harmonic 12	719 Hz	58 mV	0.05%	-151	31.1 mA	12.21%	12.3
Harmonic 13	778 Hz	42.7 mV	0.03%	-49.2	43 mA	16.86%	-14.5
Harmonic 14	838 Hz	33.6 mV	0.03%	152	28.5 mA	11.20%	169
Harmonic 15	898 Hz	99.1 mV	0.08%	35.6	38.5 mA	15.11%	153
Harmonic 16	958 Hz	38.3 mV	0.03%	160	28.8 mA	11.30%	-34
Harmonic 17	1.02 kHz	90.2 mV	0.07%	-108	28.1 mA	11.02%	-41.5
Harmonic 18	1.08 kHz	46.3 mV	0.04%	-123	26.9 mA	10.57%	121
Harmonic 19	1.14 kHz	77.7 mV	0.06%	145	20.7 mA	8.12%	109
Harmonic 20	1.2 kHz	49.1 mV	0.04%	58.3	25.4 mA	9.95%	-79.4
Harmonic 21	1.26 kHz	61.6 mV	0.05%	-162	17.2 mA	6.75%	-103
Harmonic 22	1.32 kHz	73.4 mV	0.06%	140	26.1 mA	10.23%	78.4
Harmonic 23	1.38 kHz	174 mV	0.14%	157	15.3 mA	6.01%	58.9
Harmonic 24	1.44 kHz	7.77 mV	0.01%	-112	26 mA	10.20%	-124
Harmonic 25	1.5 kHz	82.1 mV	0.06%	-101	12.9 mA	5.05%	-134

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Regulador Estático a 100% (multiplicar Corrente RMS por 50)

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	220 V	100.00%	0.0	284 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	813 mV	0.37%	139	1.96 mA	0.69%	-121
Harmonic 3	180 Hz	476 mV	0.22%	-73.5	2.69 mA	0.95%	142
Harmonic 4	240 Hz	126 mV	0.06%	151	1.11 mA	0.39%	-69.4
Harmonic 5	299 Hz	335 mV	0.15%	160	4.02 mA	1.42%	134
Harmonic 6	359 Hz	158 mV	0.07%	-163	1.01 mA	0.36%	6.76
Harmonic 7	419 Hz	243 mV	0.11%	-172	3.01 mA	1.06%	161
Harmonic 8	479 Hz	74.8 mV	0.03%	-166	1.84 mA	0.65%	-165
Harmonic 9	539 Hz	152 mV	0.07%	-143	2.87 mA	1.01%	134
Harmonic 10	599 Hz	105 mV	0.05%	175	560 uA	0.20%	1.74
Harmonic 11	659 Hz	152 mV	0.07%	-120	2.82 mA	0.99%	-167
Harmonic 12	719 Hz	33.2 mV	0.02%	-104	1.58 mA	0.56%	-11.1
Harmonic 13	778 Hz	96 mV	0.04%	-117	2.68 mA	0.95%	-171
Harmonic 14	838 Hz	66.4 mV	0.03%	-60.7	1.01 mA	0.36%	-82.3
Harmonic 15	898 Hz	133 mV	0.06%	-87.6	2.48 mA	0.87%	-143
Harmonic 16	958 Hz	25.4 mV	0.01%	130	489 uA	0.17%	-58.7
Harmonic 17	1.02 kHz	141 mV	0.06%	-96.9	2.37 mA	0.84%	-141
Harmonic 18	1.08 kHz	127 mV	0.06%	-138	1.5 mA	0.53%	140
Harmonic 19	1.14 kHz	24.2 mV	0.01%	-149	2.85 mA	1.00%	-88.8
Harmonic 20	1.2 kHz	87 mV	0.04%	-102	1.61 mA	0.57%	137
Harmonic 21	1.26 kHz	63.2 mV	0.03%	-12.9	3.35 mA	1.18%	-105
Harmonic 22	1.32 kHz	196 mV	0.09%	152	1.39 mA	0.49%	47.3
Harmonic 23	1.38 kHz	44.1 mV	0.02%	127	2.5 mA	0.88%	-97.7
Harmonic 24	1.44 kHz	107 mV	0.05%	934 m	3.18 mA	1.12%	90.2
Harmonic 25	1.5 kHz	94.1 mV	0.04%	-152	2.3 mA	0.81%	-25.7

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Regulador Estático a 90% (multiplicar Corrente RMS por 50)

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	60 Hz	220 V	100.00%	0.0	249 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	510 mV	0.23%	111	1.04 mA	0.42%	137
Harmonic 3	180 Hz	1.02 V	0.46%	-63.1	62.9 mA	25.27%	175
Harmonic 4	240 Hz	19.1 mV	0.01%	-84.8	600 uA	0.24%	-123
Harmonic 5	300 Hz	201 mV	0.09%	16.5	38.5 mA	15.47%	-130
Harmonic 6	360 Hz	156 mV	0.07%	-95.2	1.2 mA	0.48%	25.4
Harmonic 7	420 Hz	483 mV	0.22%	112	20.4 mA	8.19%	-52.7
Harmonic 8	480 Hz	114 mV	0.05%	-164	612 uA	0.25%	39.5
Harmonic 9	540 Hz	389 mV	0.18%	-128	15.9 mA	6.40%	49.5
Harmonic 10	600 Hz	47.7 mV	0.02%	-90.1	784 uA	0.31%	-154
Harmonic 11	660 Hz	425 mV	0.19%	-6.81	15.5 mA	6.22%	127
Harmonic 12	720 Hz	37.2 mV	0.02%	-162	451 uA	0.18%	-126
Harmonic 13	780 Hz	511 mV	0.23%	94.8	11.6 mA	4.64%	-151
Harmonic 14	840 Hz	167 mV	0.08%	179	1.63 mA	0.66%	27.9
Harmonic 15	900 Hz	444 mV	0.20%	-161	8.84 mA	3.55%	-64.8
Harmonic 16	960 Hz	65.5 mV	0.03%	168	1.98 mA	0.79%	7.12
Harmonic 17	1.02 kHz	331 mV	0.15%	-48	10.1 mA	4.04%	28.9
Harmonic 18	1.08 kHz	69.3 mV	0.03%	141	2.59 mA	1.04%	176
Harmonic 19	1.14 kHz	464 mV	0.21%	70.5	9.14 mA	3.67%	109
Harmonic 20	1.2 kHz	54.3 mV	0.02%	99.7	1.6 mA	0.64%	-111
Harmonic 21	1.26 kHz	414 mV	0.19%	-177	5.92 mA	2.38%	-159
Harmonic 22	1.32 kHz	58.7 mV	0.03%	160	659 uA	0.26%	30.5
Harmonic 23	1.38 kHz	340 mV	0.15%	-62.7	6.62 mA	2.66%	-72.2
Harmonic 24	1.44 kHz	111 mV	0.05%	56.3	617 uA	0.25%	35.3
Harmonic 25	1.5 kHz	362 mV	0.16%	47.5	6.74 mA	2.71%	-3.21

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Regulador Estático a 80% (multiplicar Corrente RMS por 50)

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	219 V	100.00%	0.0	211 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	838 mV	0.38%	133	1.58 mA	0.75%	-107
Harmonic 3	180 Hz	999 mV	0.46%	-47.2	84.7 mA	40.21%	-167
Harmonic 4	240 Hz	288 mV	0.13%	-169	476 uA	0.23%	155
Harmonic 5	299 Hz	676 mV	0.31%	116	35.3 mA	16.77%	-84.7
Harmonic 6	359 Hz	99.7 mV	0.05%	-160	1.88 mA	0.89%	80.8
Harmonic 7	419 Hz	602 mV	0.27%	-116	23.1 mA	10.96%	37.8
Harmonic 8	479 Hz	193 mV	0.09%	-155	681 uA	0.32%	124
Harmonic 9	539 Hz	567 mV	0.26%	49	21.4 mA	10.16%	132
Harmonic 10	599 Hz	38 mV	0.02%	159	1.1 mA	0.52%	-69.2
Harmonic 11	659 Hz	706 mV	0.32%	-170	14.3 mA	6.79%	-113
Harmonic 12	719 Hz	221 mV	0.10%	163	762 uA	0.36%	-18
Harmonic 13	778 Hz	578 mV	0.26%	-10.2	13.8 mA	6.54%	-9.29
Harmonic 14	838 Hz	165 mV	0.08%	-117	1.16 mA	0.55%	143
Harmonic 15	898 Hz	568 mV	0.26%	136	12.5 mA	5.93%	89.1
Harmonic 16	958 Hz	74.9 mV	0.03%	-104	1.56 mA	0.74%	169
Harmonic 17	1.02 kHz	582 mV	0.27%	-89.3	9.86 mA	4.68%	-158
Harmonic 18	1.08 kHz	143 mV	0.07%	-179	248 uA	0.12%	6.47
Harmonic 19	1.14 kHz	655 mV	0.30%	75.7	9.57 mA	4.54%	-63.7
Harmonic 20	1.2 kHz	114 mV	0.05%	-24.2	1.92 mA	0.91%	123
Harmonic 21	1.26 kHz	573 mV	0.26%	-136	8.12 mA	3.86%	48.7
Harmonic 22	1.32 kHz	64.8 mV	0.03%	50.8	1.36 mA	0.65%	-118
Harmonic 23	1.38 kHz	594 mV	0.27%	-1.36	6.63 mA	3.15%	155
Harmonic 24	1.44 kHz	114 mV	0.05%	-121	1.42 mA	0.68%	157
Harmonic 25	1.5 kHz	549 mV	0.25%	163	7.31 mA	3.47%	-115

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Regulador Estático a 70% (multiplicar Corrente RMS por 10)

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	60 Hz	219 V	100.00%	0.0	861 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	672 mV	0.31%	99.9	2.26 mA	0.26%	64.6
Harmonic 3	180 Hz	1.13 V	0.52%	-20.6	455 mA	52.84%	-153
Harmonic 4	240 Hz	116 mV	0.05%	-23.9	3.27 mA	0.38%	147
Harmonic 5	300 Hz	671 mV	0.31%	175	152 mA	17.61%	-36.1
Harmonic 6	360 Hz	145 mV	0.07%	-118	1.91 mA	0.22%	-80.3
Harmonic 7	420 Hz	676 mV	0.31%	7.52	152 mA	17.68%	84
Harmonic 8	480 Hz	189 mV	0.09%	-63.2	2.7 mA	0.31%	41.1
Harmonic 9	540 Hz	600 mV	0.27%	176	90.3 mA	10.49%	-159
Harmonic 10	600 Hz	73.1 mV	0.03%	-168	2.68 mA	0.31%	179
Harmonic 11	660 Hz	702 mV	0.32%	-5.87	90.9 mA	10.55%	-38.8
Harmonic 12	720 Hz	112 mV	0.05%	-33.5	3.48 mA	0.40%	-89.8
Harmonic 13	780 Hz	617 mV	0.28%	164	63.8 mA	7.40%	78.8
Harmonic 14	840 Hz	152 mV	0.07%	-149	1.93 mA	0.22%	55.3
Harmonic 15	900 Hz	603 mV	0.27%	-10	64.2 mA	7.46%	164
Harmonic 16	960 Hz	73.1 mV	0.03%	-42	2.68 mA	0.31%	138
Harmonic 17	1.02 kHz	696 mV	0.32%	165	50.2 mA	5.83%	-45.9
Harmonic 18	1.08 kHz	236 mV	0.11%	164	2.54 mA	0.29%	-93
Harmonic 19	1.14 kHz	709 mV	0.32%	-7.93	48.9 mA	5.68%	72.7
Harmonic 20	1.2 kHz	159 mV	0.07%	-36.1	1.09 mA	0.13%	28
Harmonic 21	1.26 kHz	625 mV	0.29%	165	41.3 mA	4.79%	-169
Harmonic 22	1.32 kHz	169 mV	0.08%	126	2.26 mA	0.26%	-159
Harmonic 23	1.38 kHz	611 mV	0.28%	-9.96	43.1 mA	5.00%	-46.3
Harmonic 24	1.44 kHz	176 mV	0.08%	-2.89	2.76 mA	0.32%	-69.8
Harmonic 25	1.5 kHz	605 mV	0.28%	161	34.9 mA	4.05%	67.9

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Regulador Estático a 60% (multiplicar Corrente RMS por 10)

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	219 V	100.00%	0.0	688 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	973 mV	0.44%	129	5 mA	0.73%	-133
Harmonic 3	180 Hz	668 mV	0.30%	-2.76	438 mA	63.75%	-142
Harmonic 4	240 Hz	63 mV	0.03%	-78.1	4.4 mA	0.64%	19.6
Harmonic 5	299 Hz	567 mV	0.26%	-139	168 mA	24.39%	8.07
Harmonic 6	359 Hz	262 mV	0.12%	175	3.24 mA	0.47%	171
Harmonic 7	419 Hz	585 mV	0.27%	86.6	133 mA	19.32%	119
Harmonic 8	479 Hz	92.9 mV	0.04%	5.14	4.37 mA	0.63%	-77.6
Harmonic 9	539 Hz	460 mV	0.21%	-82.5	103 mA	14.98%	-96.3
Harmonic 10	599 Hz	228 mV	0.10%	-155	4.98 mA	0.72%	46
Harmonic 11	659 Hz	683 mV	0.31%	133	75.5 mA	10.98%	22.8
Harmonic 12	719 Hz	152 mV	0.07%	50.1	2.28 mA	0.33%	176
Harmonic 13	778 Hz	607 mV	0.28%	-38.4	72.1 mA	10.48%	158
Harmonic 14	838 Hz	227 mV	0.10%	-105	4.77 mA	0.69%	-70.1
Harmonic 15	898 Hz	570 mV	0.26%	-178	55.4 mA	8.06%	-72.5
Harmonic 16	958 Hz	174 mV	0.08%	90.3	2.34 mA	0.34%	91.2
Harmonic 17	1.02 kHz	534 mV	0.24%	18.4	53.8 mA	7.82%	55.5
Harmonic 18	1.08 kHz	181 mV	0.08%	-55.3	3.52 mA	0.51%	-154
Harmonic 19	1.14 kHz	508 mV	0.23%	-142	43.8 mA	6.36%	-172
Harmonic 20	1.2 kHz	316 mV	0.14%	174	2.13 mA	0.31%	-25.7
Harmonic 21	1.26 kHz	663 mV	0.30%	79.3	40.9 mA	5.95%	-47.6
Harmonic 22	1.32 kHz	136 mV	0.06%	63.8	5.05 mA	0.73%	99.7
Harmonic 23	1.38 kHz	584 mV	0.27%	-89	37.5 mA	5.45%	89.3
Harmonic 24	1.44 kHz	231 mV	0.11%	-150	4.22 mA	0.61%	-128
Harmonic 25	1.5 kHz	609 mV	0.28%	122	32.8 mA	4.76%	-149

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Regulador Estático a 50% (multiplicar Corrente RMS por 10)

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	215 V	100.00%	0.0	539 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	4.81 V	2.24%	92.9	2.68 mA	0.50%	121
Harmonic 3	180 Hz	3.94 V	1.83%	-4.28	390 mA	72.33%	-137
Harmonic 4	240 Hz	3.2 V	1.49%	-97.2	2.55 mA	0.47%	14.6
Harmonic 5	299 Hz	2.51 V	1.17%	-173	192 mA	35.64%	30
Harmonic 6	359 Hz	1.68 V	0.78%	89.9	242 uA	0.04%	136
Harmonic 7	419 Hz	794 mV	0.37%	7.82	106 mA	19.61%	154
Harmonic 8	479 Hz	846 mV	0.39%	-102	1.1 mA	0.20%	-45.7
Harmonic 9	539 Hz	204 mV	0.09%	41.5	106 mA	19.77%	-64.6
Harmonic 10	599 Hz	178 mV	0.08%	-112	979 uA	0.18%	37.7
Harmonic 11	659 Hz	746 mV	0.35%	-133	73.9 mA	13.71%	81.9
Harmonic 12	719 Hz	327 mV	0.15%	81.5	731 uA	0.14%	-86
Harmonic 13	778 Hz	308 mV	0.14%	69.2	61.9 mA	11.49%	-151
Harmonic 14	838 Hz	312 mV	0.15%	-111	1.51 mA	0.28%	121
Harmonic 15	898 Hz	294 mV	0.14%	-49.5	59.3 mA	11.01%	-7.18
Harmonic 16	958 Hz	56.9 mV	0.03%	153	2.27 mA	0.42%	-47.8
Harmonic 17	1.02 kHz	599 mV	0.28%	-149	46.8 mA	8.70%	133
Harmonic 18	1.08 kHz	51.7 mV	0.02%	-169	1.92 mA	0.36%	-87.8
Harmonic 19	1.14 kHz	533 mV	0.25%	54.5	44.1 mA	8.19%	-94.6
Harmonic 20	1.2 kHz	79.5 mV	0.04%	-173	1.42 mA	0.26%	122
Harmonic 21	1.26 kHz	374 mV	0.17%	-74.1	40.8 mA	7.57%	48.9
Harmonic 22	1.32 kHz	149 mV	0.07%	27	2.32 mA	0.43%	-135
Harmonic 23	1.38 kHz	305 mV	0.10%	166	33.2 mA	6.17%	-174
Harmonic 24	1.44 kHz	37.6 mV	0.02%	141	832 uA	0.15%	-45.3
Harmonic 25	1.5 kHz	385 mV	0.18%	23.4	32.2 mA	5.98%	-37.5

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Regulador Estático a 40% (multiplicar Corrente RMS por 10)

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	220 V	100.00%	0.0	403 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	829 mV	0.38%	126	1.65 mA	0.41%	-149
Harmonic 3	180 Hz	100 mV	0.05%	-86	320 mA	79.43%	-127
Harmonic 4	240 Hz	197 mV	0.09%	158	2.12 mA	0.52%	23.4
Harmonic 5	299 Hz	269 mV	0.12%	4.66	196 mA	48.58%	49
Harmonic 6	359 Hz	158 mV	0.07%	-146	1.07 mA	0.26%	163
Harmonic 7	419 Hz	412 mV	0.19%	-144	99.9 mA	24.78%	-159
Harmonic 8	479 Hz	120 mV	0.05%	-163	876 uA	0.22%	-108
Harmonic 9	539 Hz	392 mV	0.18%	125	82.1 mA	20.38%	-26.3
Harmonic 10	599 Hz	29.8 mV	0.01%	-124	922 uA	0.23%	81.3
Harmonic 11	659 Hz	367 mV	0.17%	12.2	77.1 mA	19.12%	125
Harmonic 12	719 Hz	163 mV	0.07%	143	802 uA	0.20%	126
Harmonic 13	778 Hz	505 mV	0.23%	-116	56.9 mA	14.13%	-81.8
Harmonic 14	838 Hz	66.7 mV	0.03%	169	1.6 mA	0.37%	-107
Harmonic 15	898 Hz	450 mV	0.21%	131	48.3 mA	11.97%	53.5
Harmonic 16	958 Hz	73.2 mV	0.03%	120	1.71 mA	0.43%	130
Harmonic 17	1.02 kHz	393 mV	0.18%	20.5	48 mA	11.90%	-158
Harmonic 18	1.08 kHz	26.3 mV	0.01%	96.9	1.86 mA	0.46%	-39.4
Harmonic 19	1.14 kHz	495 mV	0.23%	-90.8	38.7 mA	9.60%	-5.12
Harmonic 20	1.2 kHz	73.6 mV	0.03%	31.3	842 uA	0.21%	147
Harmonic 21	1.26 kHz	444 mV	0.20%	176	33.5 mA	8.32%	132
Harmonic 22	1.32 kHz	132 mV	0.06%	-116	2.48 mA	0.62%	-15.2
Harmonic 23	1.38 kHz	332 mV	0.15%	52.7	34 mA	8.44%	-80.2
Harmonic 24	1.44 kHz	106 mV	0.05%	169	1.66 mA	0.41%	27.5
Harmonic 25	1.5 kHz	358 mV	0.16%	-75.1	29.2 mA	7.24%	72

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Regulador Estático a 30% (multiplicar Corrente RMS por 10)

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	219 V	100.00%	0.0	260 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	829 mV	0.38%	130	3.71 mA	1.42%	-78.8
Harmonic 3	180 Hz	165 mV	0.08%	-137	228 mA	87.43%	-118
Harmonic 4	240 Hz	235 mV	0.11%	177	5.54 mA	2.13%	91.6
Harmonic 5	299 Hz	287 mV	0.13%	59.7	170 mA	65.25%	62.1
Harmonic 6	359 Hz	217 mV	0.10%	-123	6.26 mA	2.40%	-114
Harmonic 7	419 Hz	285 mV	0.13%	-61	108 mA	41.53%	-124
Harmonic 8	479 Hz	151 mV	0.07%	-145	5.64 mA	2.17%	37.3
Harmonic 9	539 Hz	431 mV	0.20%	-136	63 mA	24.21%	29.5
Harmonic 10	599 Hz	154 mV	0.07%	132	5.08 mA	1.95%	-166
Harmonic 11	659 Hz	384 mV	0.17%	126	53.2 mA	20.43%	171
Harmonic 12	719 Hz	66.4 mV	0.03%	-96	4.95 mA	1.90%	-18.1
Harmonic 13	778 Hz	298 mV	0.14%	33.1	55 mA	21.14%	-30.6
Harmonic 14	838 Hz	182 mV	0.08%	-168	7.23 mA	2.78%	144
Harmonic 15	898 Hz	371 mV	0.17%	-55.7	44.5 mA	17.10%	131
Harmonic 16	958 Hz	81.4 mV	0.04%	155	6.18 mA	2.37%	-56.5
Harmonic 17	1.02 kHz	381 mV	0.17%	-151	33.5 mA	12.88%	-74.5
Harmonic 18	1.08 kHz	30.1 mV	0.01%	17.2	3.64 mA	1.40%	112
Harmonic 19	1.14 kHz	384 mV	0.18%	142	30.7 mA	11.80%	72.5
Harmonic 20	1.2 kHz	78.4 mV	0.04%	120	6.32 mA	2.43%	-120
Harmonic 21	1.26 kHz	254 mV	0.12%	43.5	30.1 mA	11.55%	-127
Harmonic 22	1.32 kHz	262 mV	0.12%	-105	3.29 mA	1.26%	28.3
Harmonic 23	1.38 kHz	248 mV	0.11%	-49.4	26.2 mA	10.08%	26.9
Harmonic 24	1.44 kHz	154 mV	0.07%	-151	3.88 mA	1.49%	-178
Harmonic 25	1.5 kHz	415 mV	0.19%	-139	23.7 mA	9.12%	-178

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Regulador Estático a 20% (multiplicar Corrente RMS por 10)

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	60 Hz	220 V	100.00%	0.0	157 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	454 mV	0.21%	106	2.08 mA	1.33%	175
Harmonic 3	180 Hz	396 mV	0.18%	-84.3	144 mA	91.70%	-111
Harmonic 4	240 Hz	109 mV	0.05%	-116	1.2 mA	0.76%	-12.1
Harmonic 5	300 Hz	228 mV	0.10%	115	123 mA	78.73%	71.5
Harmonic 6	360 Hz	103 mV	0.05%	-75.2	2.23 mA	1.42%	107
Harmonic 7	420 Hz	234 mV	0.11%	48.9	95.6 mA	60.95%	-109
Harmonic 8	480 Hz	138 mV	0.06%	-69.1	143 uA	0.09%	-10.2
Harmonic 9	540 Hz	245 mV	0.11%	-23.2	68.2 mA	43.49%	65.6
Harmonic 10	600 Hz	136 mV	0.06%	-52.6	649 uA	0.41%	-968 m
Harmonic 11	660 Hz	243 mV	0.11%	-94.8	44.3 mA	28.25%	-129
Harmonic 12	720 Hz	103 mV	0.05%	147	1.29 mA	0.82%	-8.69
Harmonic 13	780 Hz	293 mV	0.13%	158	34.8 mA	22.19%	22.4
Harmonic 14	840 Hz	132 mV	0.06%	-92.6	1.59 mA	1.01%	-41.6
Harmonic 15	900 Hz	250 mV	0.11%	87.2	32.6 mA	20.76%	175
Harmonic 16	960 Hz	11.1 mV	0.01%	13.5	760 uA	0.48%	-135
Harmonic 17	1.02 kHz	165 mV	0.07%	72.4	32.4 mA	20.66%	-20.6
Harmonic 18	1.08 kHz	97 mV	0.04%	691 m	1.4 mA	0.89%	-132
Harmonic 19	1.14 kHz	321 mV	0.15%	-11.7	28.3 mA	18.07%	146
Harmonic 20	1.2 kHz	77.7 mV	0.04%	171	753 uA	0.48%	101
Harmonic 21	1.26 kHz	231 mV	0.11%	-105	24.9 mA	15.87%	-46.7
Harmonic 22	1.32 kHz	136 mV	0.06%	-157	3.45 mA	2.20%	-44.1
Harmonic 23	1.38 kHz	96.5 mV	0.04%	-156	19.8 mA	12.64%	111
Harmonic 24	1.44 kHz	39.7 mV	0.02%	-155	328 uA	0.21%	-52.6
Harmonic 25	1.5 kHz	250 mV	0.11%	127	20.6 mA	13.11%	-96

Componentes Harmônicas da Tensão e Corrente de Alimentação

Ref: Regulador Estático a 15% (multiplicar Corrente RMS por 10)

	Freq	Voltage RMS	Voltage % F	Voltage Phase	Current RMS	Current % F	Current Phase
Fundamental	59.9 Hz	220 V	100.00%	0.0	119 mA	100.00%	0.0
Harmonic 2	120 Hz	782 mV	0.36%	130	3.97 mA	3.34%	-27.6
Harmonic 3	180 Hz	377 mV	0.17%	-115	114 mA	95.63%	-109
Harmonic 4	240 Hz	287 mV	0.13%	168	3.89 mA	3.27%	114
Harmonic 5	299 Hz	344 mV	0.16%	110	98.8 mA	83.03%	75.1
Harmonic 6	359 Hz	118 mV	0.05%	-93	4.48 mA	3.76%	-62
Harmonic 7	419 Hz	258 mV	0.12%	74.6	80.2 mA	67.39%	-104
Harmonic 8	479 Hz	75.5 mV	0.03%	-123	3.45 mA	2.90%	72.4
Harmonic 9	539 Hz	124 mV	0.06%	-35.9	62.8 mA	52.75%	72.9
Harmonic 10	599 Hz	82.8 mV	0.04%	-88.9	4.4 mA	3.70%	-105
Harmonic 11	659 Hz	149 mV	0.07%	-74.7	43.5 mA	36.53%	-112
Harmonic 12	719 Hz	81.4 mV	0.04%	155	3.58 mA	3.01%	52.5
Harmonic 13	778 Hz	226 mV	0.10%	-139	34.1 mA	28.62%	53.9
Harmonic 14	838 Hz	191 mV	0.09%	-72.8	3.6 mA	3.02%	-110
Harmonic 15	898 Hz	222 mV	0.10%	-158	26.7 mA	22.40%	-154
Harmonic 16	958 Hz	105 mV	0.05%	-112	3.27 mA	2.75%	15.9
Harmonic 17	1.02 kHz	411 mV	0.19%	138	25.5 mA	21.44%	3
Harmonic 18	1.08 kHz	53 mV	0.02%	-14.2	4.86 mA	4.08%	-176
Harmonic 19	1.14 kHz	292 mV	0.13%	44.4	24.9 mA	20.94%	174
Harmonic 20	1.2 kHz	20 mV	0.01%	-124	3.84 mA	3.23%	-12.8
Harmonic 21	1.26 kHz	106 mV	0.05%	57	21.8 mA	18.29%	-15.5
Harmonic 22	1.32 kHz	147 mV	0.07%	-157	3.45 mA	2.90%	178
Harmonic 23	1.38 kHz	141 mV	0.06%	-48.1	19.4 mA	16.34%	153
Harmonic 24	1.44 kHz	185 mV	0.08%	158	4.61 mA	3.88%	-38.4
Harmonic 25	1.5 kHz	225 mV	0.10%	-144	15.6 mA	13.08%	-46.8



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Câmpus de Ilha Solteira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Av. Brasil Centro, 56
15385-000 Ilha Solteira - SP
www.dee.feis.unesp.br

