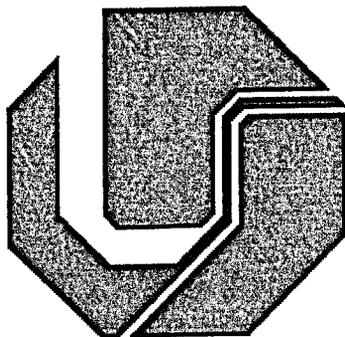


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**



**Proposta de uma Nova Concepção de um Estabilizador de
1kVA de Alto Rendimento**

SERGIO MANUEL RIVERA SANHUEZA

FEVEREIRO

2002

SISBI/UFU



1000204631

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

7211
621.3
5326 n
TES/MEM

Proposta de uma Nova Concepção de um Estabilizador de 1kVA de Alto

Rendimento

Dissertação apresentada por Sergio Manuel Rivera Sanhueza à
Universidade Federal de Uberlândia para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica aprovada em 28/03/2002 pela
seguinte banca examinadora:

Prof. Aloísio de Oliveira, Dr (Orientador – UFU)

Prof. Marco Aurélio C. de Oliveira, Dr. (UnB)

Prof. Antônio Carlos Delaiba, Dr. (UFU)

Proposta de uma Nova Concepção de um Estabilizador de 1kVA de Alto Rendimento

SERGIO MANUEL RIVERA SANHUEZA

Dissertação apresentada por Sergio Manuel Rivera Sanhueza à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Prof. Aloísio de Oliveira, Dr.
Orientador

Prof. Luiz Carlos de Freitas, Dr.
Coordenador do Curso de Pós Graduação

“O pior dos defeitos é ter defeitos e não procurar corrigir-los”

Confúcio

**Dedico esta obra aos meus queridos pais,
Pedro e Laura pelo amor e incentivo
dedicados a mim para a realização deste
trabalho e pela compreensão dos meus
momentos ausentes.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Jesus Cristo, que através de seus exemplos e ensinamentos pude superar os momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. Aloísio de Oliveira, orientador acadêmico, pelo apoio, paciência, confiança depositada e principalmente por fazer eu caminhar com passos certos para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, por nunca terem medido esforços para a realização de meus ideais.

À Marta pela compreensão dos meus momentos ausentes.

Aos amigos Fábio, Zecão, Daniel, Fernando, Carlos e Charles pelos agradáveis e inesquecíveis momentos.

À Joana e Gonçalo, secretários do curso de pós graduação, pela atenção de sempre.

Aos demais colegas de pós graduação e companheiros de república pelo apoio, incentivo e companheirismo.

À ACTIVA pelo suporte técnico.

À CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

A todos aqueles que participaram anonimamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

As quedas de tensão momentâneas são constantes nas redes de energia elétrica, exigindo medidas preventivas por parte das concessionárias e a compreensão dos consumidores, porque é impossível para as empresas de energia elétrica eliminarem totalmente o fenômeno. Uma das alternativas dos consumidores é a instalação de equipamentos destinados a manter a tensão em níveis aceitáveis. Em função disto, a indústria de equipamentos eletro-eletrônicos desenvolveu vários tipos de estabilizadores de tensão, dentre os quais, destaca-se aquele que utiliza a variação de tap's de um autotransformador, muito encontrado no comércio, que tem a desvantagem de ser caro, volumoso e de alto consumo de energia. Com o objetivo de substituir este equipamento, esta dissertação apresenta a proposta de um novo estabilizador eletrônico de baixo custo, com dimensões físicas reduzidas e principalmente baixo consumo de energia elétrica.

Palavras Chave: Queda de tensão momentânea, Estabilizador de tensão, Consumo de Energia

ABSTRACT

The voltage sag is a constant event on power distribution system networks, this makes mandatory for electricity authorities to have a high level information on its electrical system. Preventive measures should also be taken by its consumers, since it is impossible for the authority to eliminate completely such occurrences. One of the alternatives for the consumers it is the installation of equipment which has the task to keep the voltages at accepted levels. To accomplish such demand for this equipment, the electrical and electronic industry developed a variety of types of voltage stabilizing equipment. One of the main types of such equipment is the stabilizer with a tuning transformer which has the disadvantages of being expensive, with a high volume and having a high energy consumption. With the task of replace this equipment, this dissertation presents a proposal of a new Low Cost Electronic Voltage Stabilizer, with a reduced physical dimensions and mainly a low electrical energy consumption.

Keywords: Voltage sag, Voltage Stabilizer, Energy consumption

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1) A IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO ESTABILIZADOR ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO	1
1.2) JUSTIFICATIVAS PARA ESTA DISSERTAÇÃO	2
1.3) REVISÃO DE LITERATURA	2
1.4) ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
CAPÍTULO 2 O IMPACTO DA QUEDA DE TENSÃO MOMENTÂNEA SOBRE DIVERSOS EQUIPAMENTOS.....	7
2.1) CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	7
2.2) CAUSAS DA QUEDA DE TENSÃO MOMENTÂNEA.....	10
2.3) INDICADORES DE SUPORTABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS QUANTO À QUEDA DE TENSÃO MOMENTÂNEA	11
2.4) EFEITOS DA QUEDA DE TENSÃO MOMENTÂNEA EM ELETRODOMÉSTICOS, CLP'S E COMPUTADORES	13
2.4.1) Controladores lógicos programáveis.....	14
2.4.2) Computadores.....	15
2.5) TIPOS DE EQUIPAMENTOS EM BAIXA TENSÃO PARA ESTABILIZAÇÃO DA TENSÃO	18
2.5.1) Fonte de tensão ininterrupta (UPS).....	18
2.5.2) Estabilizadores de tensão.....	19
2.6) CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
CAPÍTULO 3 PREMISSAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO ESTABILIZADOR ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO.....	25
3.1) CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	25
3.2) MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.3) CARACTERÍSTICAS DOS ESTABILIZADORES DE 1kVA.....	29
3.3.1) Problemas operacionais inerentes aos estabilizadores de 1kVA.....	31
3.4) O IMPACTO DO DESEMPENHO DOS ESTABILIZADORES.....	33
3.4.1) Análise do estabilizador de 1kVA não isolado do fabricante SMS.....	34
3.4.2) Análise do estabilizador de 1kVA não isolado do fabricante CLONE.....	39
3.5) AUMENTO DA POTÊNCIA CONSUMIDA.....	42
3.6) FUNCIONAMENTO DO COMPUTADOR EM TENSÃO ABAIXO DA NOMINAL	43
3.7) AS PREMISSAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO ESTABILIZADOR DE TENSÃO.....	47
3.8) CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
CAPÍTULO 4 PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO ESTABILIZADOR DE TENSÃO	51
4.1) CONSIDERAÇÕES INICIAIS	51
4.2) FUNCIONAMENTO DO ESTABILIZADOR PROPOSTO	51
4.2.1) Estratégia de controle.....	53
4.2.2) Proteção contra distúrbios de longa duração.....	56
4.3) DESCRIÇÃO DO CIRCUITO DE CONTROLE E CARACTERÍSTICAS NOMINAIS DO ESTABILIZADOR PROPOSTO	57
4.4) PROJETO DE ESTABILIZADOR ET	58
4.4.1) Condicionador de sinal.....	58
4.4.2) Fonte de alimentação	60
4.4.3) Microcontrolador	61
4.4.4) Driver	63
4.4.5) Triac	64
4.4.6) Proteções do ET	64
4.5) CARACTERÍSTICAS DO ESTABILIZADOR ET.....	66
4.6) CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
CAPÍTULO 5 ANÁLISE EXPERIMENTAL DO ESTABILIZADOR PROPOSTO - ET.....	67
5.1) CONSIDERAÇÕES INICIAIS	67

5.2) PERFIL DAS TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA	67
5.3) CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO ESTABILIZADOR ET	71
5.4) COMPARAÇÕES ENTRE OS ESTABILIZADORES COM AUTOTRANSFORMADOR DE AJUSTE E O PROPOSTO – ET	77
5.5) SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	79
5.6) CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES FINAIS	82

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1- TENSÃO DURANTE A QUEDA DE TENSÃO MOMENTÂNEA.....	10
FIGURA 2.2 - CURVA CEBMA.....	11
FIGURA 2.3 - CURVA ITIC.....	12
FIGURA 2.4 - LIMIARES DE TENSÃO PARA OPERAÇÃO SEGURA DE VÍDEOS, FORNOS DE MICROONDAS E RELÓGIOS DIGITAIS	13
FIGURA 2.5 - CURVA DE SENSIBILIDADE DO CLP.....	15
FIGURA 2.6 - CURVA DE SENSIBILIDADE DE UM COMPUTADOR [11].....	18
FIGURA 2.7-SISTEMA UPS	19
FIGURA 2.8 - ESTABILIZADOR DE TENSÃO ELETROMECAÂNICO	20
FIGURA 2.9 - ESTABILIZADOR DE TENSÃO FUNDAMENTADO NO CONTROLE DE FASE	21
FIGURA 2.10 - ESTABILIZADOR A TIRISTOR	22
FIGURA 2.11 - ESTABILIZADOR DE TENSÃO A TRANSISTOR.....	22
FIGURA 2.12 - ESTABILIZADOR A MOSFET	23
FIGURA 2.13 - ESTABILIZADOR COM TRANSFORMADOR DE AJUSTE.....	23
FIGURA 3.1 - HARMONALYZER.....	26
FIGURA 3.2 - SD-05.....	27
FIGURA 3.3 - VISTA FRONTAL E TRASEIRA DE UM ESTABILIZADOR DE 1kVA.....	29
FIGURA 3.4 - PROTEÇÃO DE SURTO ATRAVÉS DE VARISTORES E FILTRO DE LINHA LC.....	29
FIGURA 3.5 - CIRCUITO DE CONTROLE E POTÊNCIA DO ESTABILIZADOR CLONE.....	31
FIGURA 3.6 - DIAGRAMA DE ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO QUANTO À QUEDA DE TENSÃO ..	34
FIGURA 3.7 - PERFIL DAS TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO ESTABILIZADOR SMS	35
FIGURA 3.8- ARRANJO PARA OBTER FORMAS DE ONDA E CONSUMO.....	36
FIGURA 3.9- TENSÃO DE ENTRADA DO ESTABILIZADOR SMS	36
FIGURA 3.10 - TENSÃO DE SAÍDA DO ESTABILIZADOR SMS	37
FIGURA 3.11- CORRENTE DE ENTRADA DO ESTABILIZADOR SMS	38
FIGURA 3.12 - ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DO ESTABILIZADOR SMS.....	38
FIGURA 3.13- PERFIL DAS TENSÕES EFICAZES DE ENTRADA E SAÍDA DO ESTABILIZADOR CLONE.....	39
FIGURA 3.14- TENSÃO DE ENTRADA DO ESTABILIZADOR CLONE	40
FIGURA 3.15 - TENSÃO DE SAÍDA DO ESTABILIZADOR CLONE	40
FIGURA 3.16- CORRENTE DE ENTRADA DO ESTABILIZADOR CLONE	41
FIGURA 3.17 - ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DO ESTABILIZADOR CLONE	41
FIGURA 3.18 - ARRANJO PARA ANALISAR O FUNCIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE INFORMÁTICA EM TENSÃO ABAIXO DA NOMINAL.....	43
FIGURA 3.19 - NOVA CURVA DE SENSIBILIDADE PARA O COMPUTADOR.....	45
FIGURA 3.20- CONSUMO MÉDIO DOS EQUIPAMENTOS DE INFORMÁTICA EM FUNÇÃO DA TENSÃO	48
FIGURA 4.1 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO ESTABILIZADOR PROPOSTO ET.....	52
FIGURA 4.2 - FLUXOGRAMA DA ESTRATÉGIA DE CONTROLE.....	53
FIGURA 4.3 - SENOIDE RECORTADA.....	54
FIGURA 4.4 - MARGEM PARA O ÂNGULO DE DISPARO α	56
FIGURA 4.5 - CONDICIONADOR DE SINAL.....	58
FIGURA 4.6 - FONTE DE ALIMENTAÇÃO.....	59
FIGURA 4.7 - CONTROLADOR INTEL 8051	60
FIGURA 4.8 - DRIVER PARA ACIONAMENTO DO TRIAC.....	62
FIGURA 4.9 - DIAGRAMA DO MOC 3022	63
FIGURA 4.10 - COMPARAÇÃO ENTRE AS DIMENSÕES DOS ESTABILIZADORES ET, CLONE E UMA CANETA	65
FIGURA 5.1 -ARRANJO PARA LEVANTAMENTO DO COMPORTAMENTO DA TENSÃO DE SAÍDA EM FUNÇÃO DAS VARIÇÕES DA ENTRADA.....	68
FIGURA 5.2 - COMPORTAMENTO DA TENSÃO DE SAÍDA DO ESTABILIZADOR PROPOSTO PARA VARIÇÕES DA ENTRADA NO LIMITE ESTABELECIDO 90 - 140[V _{RMS}].....	68
FIGURA 5.3 - CONDIÇÕES DE DESLIGAMENTO PARA TENSÃO ABAIXO DE 90[V _{RMS}] E ACIMA DE 140[V _{RMS}]	70
FIGURA 5.4 - ARRANJO PARA MEDIÇÃO DE POTÊNCIA E LEVANTAMENTO DAS FORMAS DE ONDA DE TENSÃO E CORRENTE.....	71
FIGURA 5.5 - TENSÃO DE ENTRADA DO ESTABILIZADOR ET.....	72
FIGURA 5.6 - TENSÃO DE SAÍDA DO ESTABILIZADOR ET	72
FIGURA 5.7 - ESPECTRO HARMÔNICO DA TENSÃO DE SAÍDA DO ESTABILIZADOR ET.....	73
FIGURA 5.8 - CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO DO ET.....	74
FIGURA 5.9 - ESPECTRO HARMÔNICO DA CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO DO ET	75

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – CARACTERÍSTICAS DOS ITENS DE QUALIDADE.....	9
<i>TABELA 2.2 – EFEITOS E DISTÚRBIOS EM COMPUTADORES</i>	16
TABELA 3.1 – AUMENTO DA POTÊNCIA CONSUMIDA PARA O ESTABILIZADOR SMS.....	42
<i>TABELA 3.2- AUMENTO DA POTÊNCIA CONSUMIDA PARA O ESTABILIZADOR CLONE</i>	42
<i>TABELA 3.3- TENSÕES DE REFERÊNCIA E SUPORTÁVEIS PELO COMPUTADOR.</i>	46
TABELA 3.4 - CONSUMO MÉDIO DOS EQUIPAMENTOS DE INFORMÁTICA EM FUNÇÃO DA TENSÃO	47
<i>TABELA 4.1 - DESCRIÇÕES DAS FUNÇÕES DE CADA RESPECTIVO BLOCO</i>	57
TABELA 4.2 - CARACTERÍSTICAS NOMINAIS DO INTEL 8051.....	60
TABELA 4.3 - CARACTERÍSTICAS NOMINAIS DO 2N3251.....	61
TABELA 4.4 - CARACTERÍSTICAS NOMINAIS DO MOC 3022.....	63
TABELA 4.5 – CARACTERÍSTICAS NOMINAIS DO TIC 236D.....	63
<i>TABELA 4.6 - CARACTERÍSTICAS NOMINAIS DO ESTABILIZADOR ET</i>	64
TABELA 5.1 - CORRENTES DOS ESTABILIZADORES.....	75
TABELA 5.2 - AUMENTO DA POTÊNCIA CONSUMIDA PARA O ESTABILIZADOR ET	76
TABELA 5.3 - COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS TRÊS ESTABILIZADORES ANALISADOS	78

LISTA DE ABREVIATURAS

α - Ângulo de disparo do triac

A_{RMS} - Corrente eficaz [Ampere]

A_{CC} - Componente contínua da corrente [Ampere]

$^{\circ}C$ - Temperatura [Grau Celsius]

C - Comprimento [milímetro]

CBEMA - (Computer Business Equipment Manufactures Association)

CI - Circuito integrado

CLP - Controlador Lógico Programável

DEC - Duração de Interrupção Equivalente por Unidade Consumidora [hora]

f_0 - Frequência de ondulação [Hertz]

FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

H - Altura [milímetro]

IEC - [International Electrotechnical Commission]

ITIC - (Information Tecnology Industry Council)

L - Largura [milímetro]

P - Potência Ativa [Watt]

Q - Potência Reativa [Volt Ampere Reativo]

S - Potência Aparente [Volt Ampere]

UPS - Uninterrupt Power Supply

V_{CC} - Tensão em corrente contínua [Volt]

V_{est} - Tensão de saída do estabilizador [Volt]

V_{pp} - Tensão pico a pico [Volt]

V_r - *Ripple* da tensão de saída do retificador [%]

V_{rede} - Tensão da rede elétrica [Volt]

V_{RMS} - Tensão em corrente alternada [Volt]

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1) A IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO ESTABILIZADOR ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO

Nos últimos, anos houve um aumento significativo na demanda de equipamentos eletro-eletrônicos, sendo que alguns destes possuem alta sensibilidade às variações repentinas de tensão. Neste contexto houve uma rápida evolução no desenvolvimento de equipamentos destinados a manter a tensão de alimentação em níveis aceitáveis para os chamados equipamentos sensíveis. Como o número de microcomputadores é cada vez maior, muitos fabricantes desenvolveram estabilizadores com autotransformador de ajuste, destinados, especialmente, aos equipamentos de informática. Atualmente existe uma intensa comercialização deste tipo de estabilizador que apresenta um custo elevado ao consumidor, podendo chegar a R\$50,00, além de causar aumento no consumo de energia da ordem de 10% sob carga.

1.2) JUSTIFICATIVAS PARA ESTA DISSERTAÇÃO

A justificativa para esta dissertação será fundamentada nos problemas enfrentados pelos estabilizadores facilmente utilizados pelos usuários de computadores, através de ensaios de laboratório e dos resultados apresentados pelo INMETRO [12]. Em função da necessidade de manter a tensão em níveis aceitáveis, foi proposto neste trabalho o desenvolvimento de um novo estabilizador eletrônico de baixo custo, com as vantagens de ter menor consumo de energia, peso e volume.

1.3) REVISÃO DE LITERATURA

Já que um dos objetivos dos estabilizadores é atenuar a queda de tensão momentânea, houve a necessidade de se relatar assuntos referentes a este fenômeno. No tradicional livro de DUGAN et al [1] (1995), são relacionados assuntos referentes aos diversos itens de qualidade da energia, sendo que para este trabalho foram abordadas as causas da queda de tensão momentânea e as possíveis soluções.

A dissertação de SOARES [2] (1999), analisa o comportamento de cargas residenciais e comerciais sob o enfoque da qualidade de energia elétrica. Neste trabalho conclui-se que as correntes harmônicas não são prejudiciais para o sistema elétrico em função do defasamento angular e o alto nível de curto circuito da rede elétrica. Esta conclusão será importante

para analisar as características da forma de onda da tensão e da corrente do equipamento proposto nesta dissertação.

No que se refere aos estabilizadores, há uma escassez de bibliografia adequada, o presente trabalho fundamentou-se na dissertação de KUROKAWA [3] (1995), da área de eletrônica de potência, onde há uma descrição de diversas topologias dos referidos equipamentos.

MAMEDE [4] (1997) discute as soluções dos problemas enfrentados por equipamentos eletrônicos, no que se refere aos diversos itens de qualidade de energia, sendo que para a elaboração desta dissertação destacou-se a influência do ruído em computadores. Dentre as soluções sugeridas pelo autor estão o uso de filtro de linha e varistores. O mesmo autor discute a sensibilidade de equipamentos industriais em [5] (1997).

A recomendação do IEEE [6] (1980) discute vários assuntos referentes à qualidade de energia, porém neste trabalho destacou-se a sensibilidade de computadores perante quedas e elevações temporárias de tensão, apresentando a curva CEBMA como referência.

Ainda com relação aos estabilizadores, o catálogo do fabricante SMS [7] foi consultado para conhecer as características técnicas deste estabilizador, porém o mesmo não fornece detalhes dos circuitos de controle e potência, sendo necessário abrir o equipamento para conhecer os respectivos circuitos.

Como o equipamento mais destacado nesta dissertação é o computador, houve a necessidade de se entender melhor o funcionamento das fontes chaveadas. Estas informações descritas por MARTIN [8] (1996), são encontradas numa revista especializada em eletrônica.

No artigo de COSTA et al [9], publicado no SBQEE de 1999, destacam-se diversas soluções de atenuação dos afundamentos de tensão em complexos industriais.

As referências de maior contribuição para a realização deste trabalho são as dissertações de LOURENÇO [10] e SANTOS [11], ambas publicadas em 2001. Em [10], são levantadas as curvas de sensibilidade de diversos equipamentos através da aplicação de afundamentos de tensão programados, tanto em magnitude e duração. Os equipamentos analisados no referido trabalho são contadores, lâmpadas de descarga, conversores de frequência e CLP's. Já em [11] adota-se a mesma filosofia, porém os equipamentos analisados são as fontes chaveadas e lineares.

Como grande contribuição experimental para este trabalho, utilizou-se o resultado de uma análise realizada pelo INMETRO [12] no ano de 1996, que trata dos estabilizadores que utilizam a variação de tap's de um autotransformador. A conclusão da referida análise deixa clara a ineficácia desta topologia de estabilizador.

1.4) ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Capítulo I

Apresenta a introdução geral, onde se enfatiza a necessidade de um novo equipamento eletrônico para a estabilização de tensão.

Capítulo II

Trata da descrição dos itens relacionados à qualidade de energia elétrica, apresentando uma análise mais profunda relacionada à queda de tensão momentânea, destacando suas causas, indicadores de suportabilidade e o comportamento de determinados equipamentos perante a subtensão. Também são apresentados alguns equipamentos destinados à atenuação deste fenômeno, entre os quais destacam-se os estabilizadores. Para finalizar o capítulo, uma breve descrição de cada tipo deste equipamento.

Capítulo III

Realização de ensaios para determinar a eficácia dos estabilizadores com transformador de ajuste, visando constatar se os mesmos conseguem cumprir as propostas estabelecidas no catálogo e medir a potência dissipada nas condições de carga. Procedeu-se ainda a experimentos para determinar a tensão mínima de funcionamento de um microcomputador em execução de programas.

Capítulo IV

Descrição do estabilizador proposto, mencionando o seu princípio de funcionamento, o diagrama de blocos do circuito de controle e detalhes construtivos.

Capítulo V

Apresenta a análise experimental do novo estabilizador, destacando o comportamento da tensão de saída e o rendimento. Finalizando o capítulo, encontram-se descritas as principais vantagens do novo equipamento.

Capítulo VI

Apresenta as conclusões gerais referentes a esta dissertação.

CAPÍTULO 2

O IMPACTO DA QUEDA DE TENSÃO MOMENTÂNEA SOBRE DIVERSOS EQUIPAMENTOS

2.1) CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos últimos anos, a qualidade da energia elétrica assumiu grande importância no cenário nacional e internacional, pois problemas relacionados à mesma estão ocorrendo com maior frequência, preocupando tanto os consumidores como as concessionárias, devido a prejuízos técnicos e financeiros para ambas as partes. Podem-se destacar os motivos pelos quais se revela a grande preocupação dos consumidores e concessionárias com relação à qualidade da energia elétrica [2].

- ✓ Os equipamentos e maquinários atuais estão cada vez mais sensíveis às variações da qualidade da energia em relação aos utilizados no passado. Muitos dos aparelhos modernos contêm controles microprocessados e/ou unidades de eletrônica de potência, tornando-os muito sensíveis a certos tipos de distúrbios, que por décadas podem ter ocorrido sem

causar efeitos adversos, mas que, atualmente, resultam na operação indevida e, sobretudo, redução da vida útil de dispositivos;

- ✓ O crescente interesse na racionalização de energia para o aumento da eficiência dos sistemas elétricos resultou em uma crescente aplicação de equipamentos de alta eficiência, acionamentos eletrônicos e bancos de capacitores, para correção do fator de potência. Estas atitudes levaram ao incremento das amplitudes das componentes harmônicas nas redes elétricas, refletindo-se na preocupação generalizada com o impacto destes níveis em um futuro próximo;
- ✓ A utilização crescente das linhas de comunicação de dados em todos os setores da sociedade, tornando necessárias operações ininterruptas das transações comerciais e dos processos de controle industriais;
- ✓ Os consumidores apresentam posturas cada vez mais exigentes em função da necessidade de sobreviverem em um ambiente de mercado crescente e competitivo.

Os principais fenômenos responsáveis pela degradação da qualidade da energia, aqui definidos como itens de qualidade, bem como suas causas, efeitos e soluções, são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Características dos Itens de Qualidade

Tipo de Distúrbio	Causas	Efeitos	Soluções
Transitórios Impulsivos	-Descargas Atmosféricas; -Chaveamento de cargas.	-Excitação de circuitos ressonantes; -Redução da vida útil de motores, geradores, transformadores, etc.	-Filtros; -Detectores de surtos; -Transformadores isoladores.
Transitórios Oscilatórios	-Descargas atmosféricas; -Chaveamento de capacitores, linhas, cabos, cargas e transformadores.	-Mau funcionamento de equipamentos controlados eletronicamente, conversores de potência, etc.; -Redução da vida útil de motores, geradores, transformadores, etc.	-Filtros; -detectores de surtos; -Transformadores isoladores.
Sub e Sobretensões	-Partidas de motores; -Variação de cargas; -Chaveamento de capacitores.	-Pequena redução na velocidade dos motores de indução e no reativo dos bancos de capacitores; -Falhas de equip. eletrônicos; -Redução da vida útil de máquinas rotativas, transformadores, cabos, disjuntores, TP's e TC's; -Operação indevida de relés de proteção.	-Reguladores de tensão; -Fontes de energia de reserva; -Chaves estáticas; -Geradores de energia.
Interrupções	-Curto-circuito; -Operação de disjuntores; -Manutenção.	-Falha de equip. eletrônicos e de iluminação; -Desligamento de equipamentos; -Interrupção do processo produtivo (altos custos).	-Fontes de energia sobressalentes; -Sistemas "UPS"; -Geradores de energia.
Desequilíbrios	-Fornos a arco; -Cargas monof. e bif; -Assimetria entre as impedâncias.	-Redução da vida útil de motores de indução e máquinas síncronas; -Geração, pelos retificadores, de 3º harmônico e seus múltiplos.	-Operação simétrica; -Dispositivos de compensação.
Nível CC	-Operação ideal de retificadores de meia-onda, etc.	-Saturação de transformadores; -Corrosão eletrolítica de eletrodos de aterramentos e de outros conectores.	
Harmônicos	-Cargas não-lineares	-Sobreaquecimento de cabos, transformadores e mot. De indução; -Danificação de capacitores, etc. -Erros em medidores de energia.	-Filtros; -Transformadores isoladores.
Interharmônicos	-Conversores estáticos de potência; -Cicloconversores; -Motores de indução; -Equipamentos a arco, etc.	-Interferência na transmissão de sinais "carrier"; -Indução de "flicker" visual no "display" de equipamentos.	
"Notching"	-Equipamentos de eletrônica de potência.		-Aterramento das instalações; -Filtros.
Ruídos	-Chaveamento de equip. eletrônicos de potência; -Radiações eletromagnéticas.	-Distúrbios em equip. eletrônicos (computadores e controladores programáveis).	-Sistemas estáticos de compensação de reativos; -Capacitores série.
Oscilações de Tensão	-Cargas intermitentes; -Fornos a arco; -Partida de motores.	-"Flicker"; -Oscilação de potência e torque nas máquinas elétricas; -Queda de rendimento de equipamentos elétricos; -Interferência nos sistemas de proteção.	
Variação na Frequência do Sistema Elétrico	-Perda de geração, perda de linhas de transmissão, etc.	-Causa danos severos nos geradores e nas palhetas das turbinas, etc.	

Neste contexto, o capítulo II será destinado ao estudo da queda de tensão momentânea, comentando seus efeitos em diversos equipamentos. A literatura usual se refere a este fenômeno como “voltage sag”, tendo curta duração que pode variar de 0,5 a 30 ciclos. A Figura 2.1 mostra o registro deste acontecimento [1].

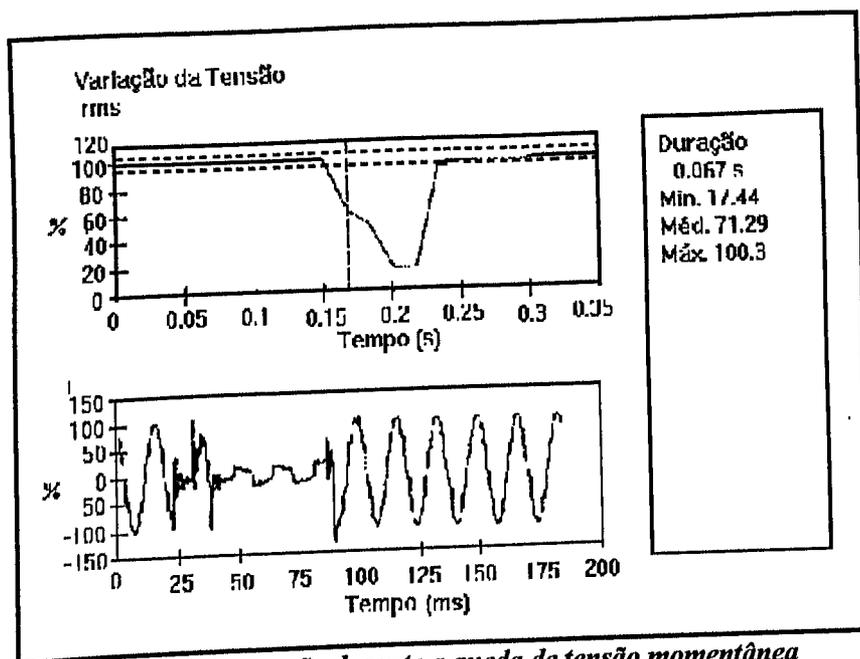


Figura 2.1– Tensão durante a queda de tensão momentânea

2.2) CAUSAS DA QUEDA DE TENSÃO MOMENTÂNEA

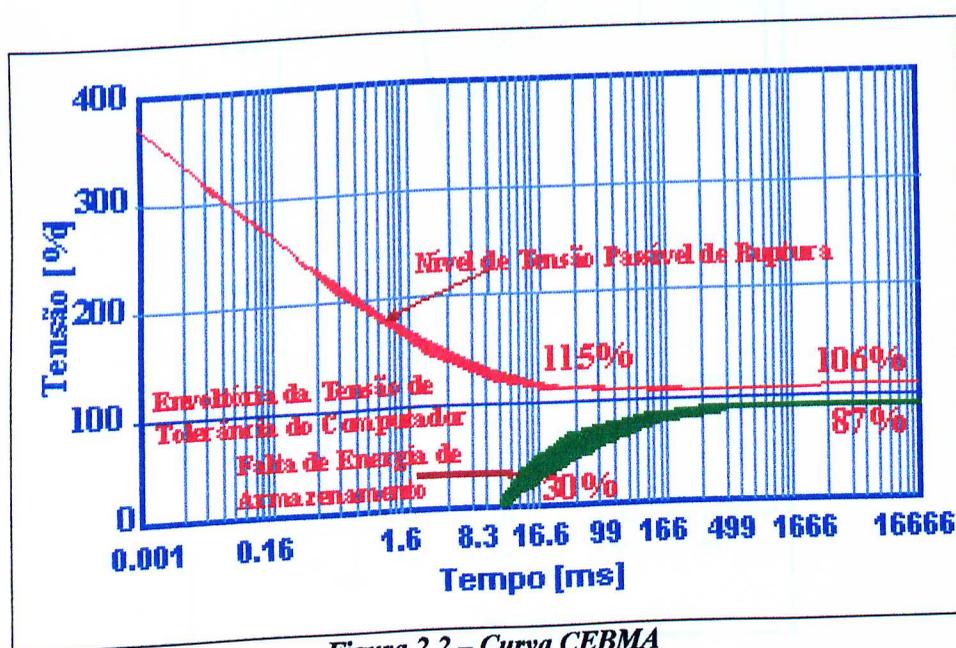
Uma das causas mais comuns da queda de tensão momentânea são os curtos circuitos que ocorrem nos sistemas de transmissão e distribuição. Neste caso, a magnitude da tensão dependerá da distância de onde a falta ocorreu até o ponto analisado, das conexões dos transformadores e do tipo de falta, que pode ser trifásica equilibrada, dupla fase-terra, fase-fase ou fase-terra, sendo esta última o tipo mais comum.

Já a partida de motores tem o efeito indesejável da subtensão, pois exige uma elevada corrente. Esta corrente, ao atravessar todas as

impedâncias do sistema (barramentos, transformadores e cabos), ocasiona redução de tensão, fazendo com que ocorra enfraquecimento da intensidade luminosa, desativação da bobina dos contadores e mau funcionamento ou desligamento de equipamentos sensíveis.

2.3) INDICADORES DE SUPORTABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS QUANTO À QUEDA DE TENSÃO MOMENTÂNEA

A diferença de sensibilidade dos equipamentos dificulta a elaboração de um padrão para definir os limites de operação dos mesmos. Visando superar este problema, foram elaboradas curvas que estabelecem os limites de variação de tensão em função da duração do evento. A CEBMA sugere uma curva que representa a região segura de operação para equipamentos de informática. Uma parte desta curva foi adaptada da norma IEEE 446, sendo mostrada na Figura 2.2.



A abscissa representa a duração do distúrbio, com a escala de tempo em milisegundos, porém na curva original, a escala de tempo é em ciclos [2]. Esta transformação tem como objetivo padronizar esta dissertação com os ensaios de laboratório e a curva ITIC. Já o eixo das ordenadas representa a magnitude da tensão em percentagem.

A região de operação acima da curva superior poderá ocasionar mau funcionamento, como falhas no isolamento, atuação da proteção por sobretensão e superexcitação. Por outro lado, a operação abaixo da curva inferior poderá desativar a carga por falta de energia.

Com o passar dos anos, a curva CEBMA foi revisada e modificada para caracterizar melhor a sensibilidade de computadores e demais equipamentos eletrônicos, assim a ITIC desenvolveu uma nova curva padrão [11], mostrada na Figura 2.3.

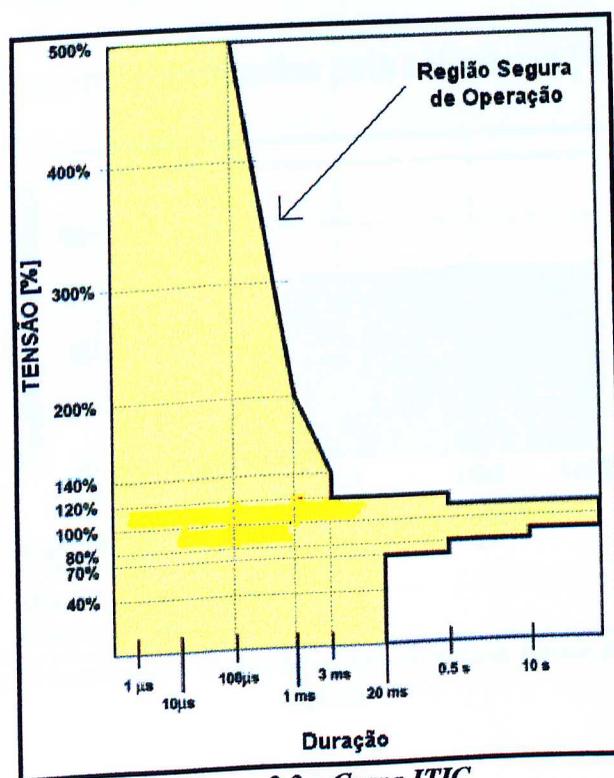


Figura 2.3 – Curva ITIC

Esta curva é mais tolerável às quedas de tensões momentâneas do que aquela estabelecida pela CEBMA, visto que alguns equipamentos, como um CLP previamente analisado [10], podem ser submetidos a distúrbios mais severos do que os estabelecidos por esta última curva. A escala de tempo em questão originalmente é em milissegundos.

2.4) EFEITOS DA QUEDA DE TENSÃO MOMENTÂNEA EM ELETRODOMÉSTICOS, CLP'S E COMPUTADORES

Quanto aos reflexos sobre as instalações residenciais, pode-se destacar a perda de memória de eletrodomésticos, como vídeos, fornos de microondas e relógios digitais.

Embora a unidade de tempo seja, na maioria das vezes, medida em ciclos, esta dissertação padronizará em milissegundos conforme dito anteriormente. A Figura 2.4 mostra os limiares de tensão para operação segura destes equipamentos fornecidos pela referência [4].

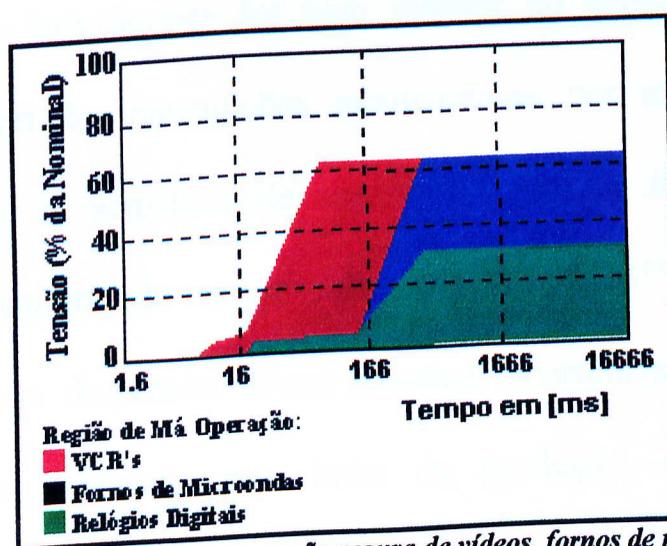


Figura 2.4 – Limiares de tensão para operação segura de vídeos, fornos de microondas e relógios digitais

Outros equipamentos, encontrados tanto em ambientes comerciais como residenciais, também são sensíveis à variação repentina de tensão, podendo provocar a falha de um componente ou a sua total parada de funcionamento. De forma geral, serão apresentados na seqüência equipamentos e dispositivos com as suas respectivas curvas de sensibilidade e a região segura de operação.

2.4.1) Controladores lógicos programáveis

Os CLP's são utilizados em vários setores industriais fazendo controle de processos via *software*. De acordo com a referência [4], as unidades I/O de entrada e saída de dados podem desativar em tensões inferiores a 90% em poucos ciclos, porém o resultado de um ensaio da referência [10], tomando como referência a curva CEBMA e não a ITIC, mostra que este equipamento suportou distúrbios muito severos por longos períodos. A sensibilidade às interrupções foi bem inferior ao estipulado pela curva CEBEMA, suportando interrupções momentâneas por até 166,6[ms], ou seja, 10 ciclos. A sensibilidade aos afundamentos de tensão foi até surpreendente, suportando um afundamento de até 85%, sem qualquer problema aparente detectado. Numa eventual ocorrência de um distúrbio com essas características, uma linha de produção, certamente, seria interrompida devido a falhas em outros equipamentos ou à atuação dos

dispositivos de proteção. A curva de sensibilidade do CLP é mostrada na

Figura 2.5.

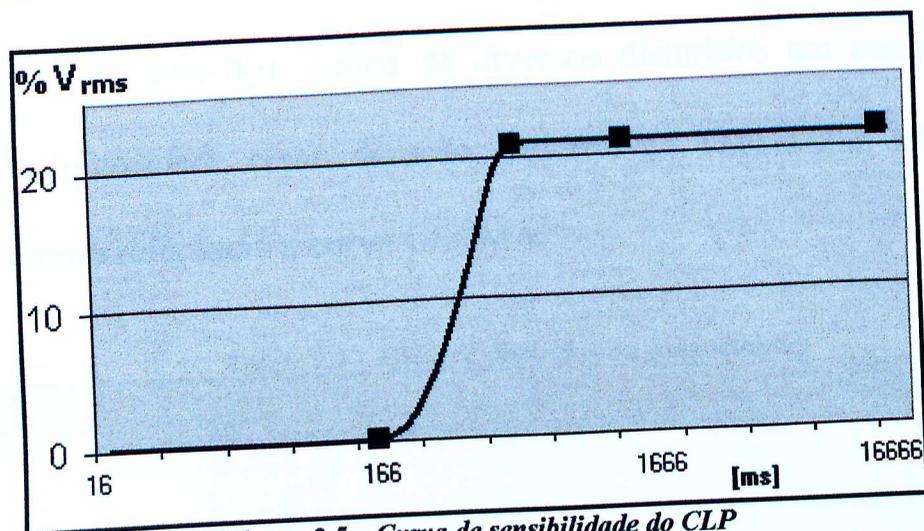


Figura 2.5 – Curva de sensibilidade do CLP

2.4.2) Computadores

São considerados um dos mais importantes equipamentos, tendo em vista que o principal objetivo desta dissertação é fundamentado no estabilizador que fará a sua proteção. Durante uma queda de tensão momentânea, há uma degradação na qualidade da tensão com alta quantidade de ruído e segundo a referência [4], podem ser ocasionados os seguintes problemas:

- Alteração dos dados de um programa em execução.
- Alteração dos dados armazenados na memória volátil.
- Alteração ou limpeza de dados armazenados em disco rígido.
- Desligamento de pontos presentes nas telas dos monitores.
- Provocação de avarias nos componentes eletrônicos dos equipamentos.

Os problemas podem ser atenuados com o uso de filtros, transformadores isoladores e condicionadores de linha. A referência [6] fornece um resumo dos efeitos de diversos distúrbios em computadores, tanto em intensidade como duração, descrito na Tabela 2.2. Este estudo utilizou como referência a curva CEBMA.

Tabela 2.2 – Efeitos e distúrbios em computadores

DISTÚRPIO	VALOR	DURAÇÃO	EFEITO NO COMPUTADOR
Interrupções transitórias	Abaixo de 85% V_{RMS}	Mais que 10s	O equipamento será desligado. O processamento será interrompido, resultando em um longo tempo de restart. Dados poderão ser perdidos e possivelmente haverá danificação do hardware.
Queda de tensão momentânea e Surto	Abaixo de 85% V_{RMS} e acima de 105% V_{RMS}	De 16,7ms (1 ciclo) a 10s	O equipamento poderá ser desligado, dependendo da duração e magnitude do evento. Se o processamento é interrompido, poderá haver um longo tempo de restart. Em casos mais severos dados poderão ser perdidos e possivelmente danificação do hardware.
Impulso	100% V_{RMS} ou acima	Menos que 16,7ms (1 ciclo)	Erros de processamento, em casos individuais, pode haver parada no processamento, no entanto alguns fenômenos não são normalmente detectáveis. Raramente o equipamento será desligado. Componentes eletrônicos serão danificados, caso não tenha uma proteção adequada

De fato, o assunto é merecedor de uma atenção especial, tanto que nos últimos meses duas dissertações, [10] e [11], procederam a investigações, ensaios e apresentaram resultados que vieram agregar à escassa literatura sobre o assunto. Neste contexto, a referência [11] concluiu testes em que foram aplicadas quedas de tensão momentâneas em um microcomputador com as seguintes características:

- Tensão de alimentação 110/220[V_{RMS}]
- Processador Pentium MMX de 200[MHz]
- Potência RMS da fonte chaveada 300[W]
- Operação no modo *windows* sem a execução de programas

Afundamentos inferiores a 40%, com duração de até 1,66[s], não são transferidos para a fonte chaveada do computador, logo não prejudicam o funcionamento do mesmo. Por outro lado, afundamentos da ordem de 48% provocam uma redução na tensão de saída da fonte chaveada em cerca de 10%, porém sem prejuízos ao computador. Para afundamentos de tensão de 50%, o computador opera normalmente por um período de 166,66[ms]. Quando ocorrem afundamentos de tensão superiores a 55%, o computador tem sua operação comprometida depois de 116,66[ms] de duração do evento. E as interrupções no fornecimento de energia provocam o desligamento do computador depois de aproximadamente 116,66[ms], assim como para afundamentos de tensão superiores a 55%. Com estes

resultados a referência [11] elaborou a curva de sensibilidade do computador, sem execução de programas, apresentada na Figura 2.6.

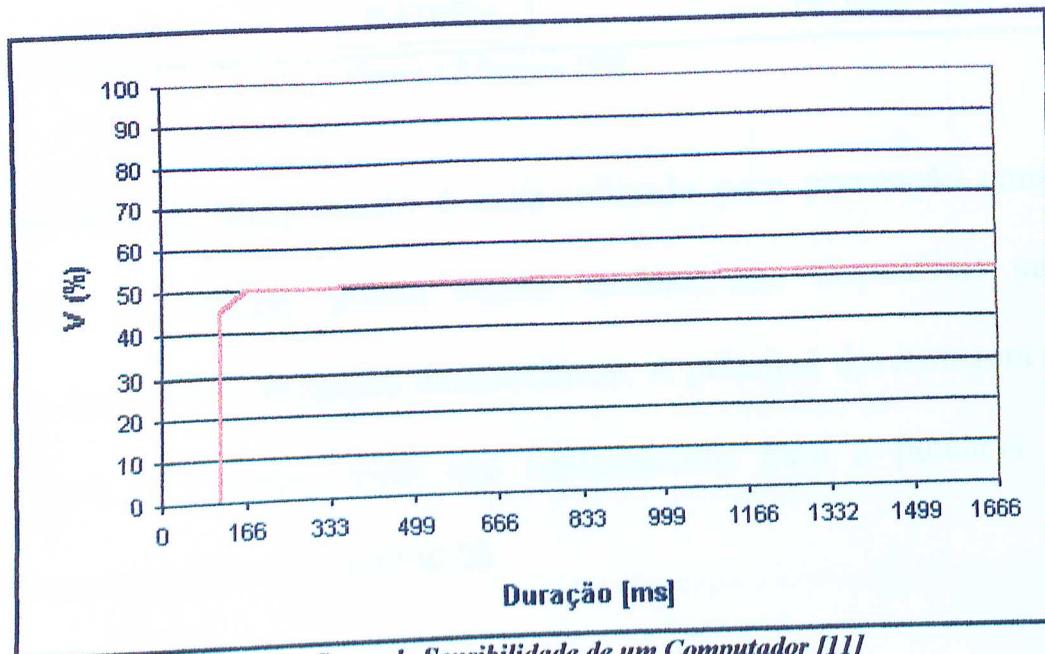


Figura 2.6 – Curva de Sensibilidade de um Computador [11]

Na seqüência serão discutidos os diversos equipamentos destinados a proteger as cargas contra as variações repentinas de tensão.

2.5) TIPOS DE EQUIPAMENTOS EM BAIXA TENSÃO PARA ESTABILIZAÇÃO DA TENSÃO

2.5.1) Fonte de tensão ininterrupta (UPS)

Utiliza um banco de baterias como armazenador de energia. Esta tecnologia foi desenvolvida e há hoje várias configurações de UPS's. Seu diagrama unifilar simplificado, fornecido pela referência [1], pode ser visto na Figura 2.7.

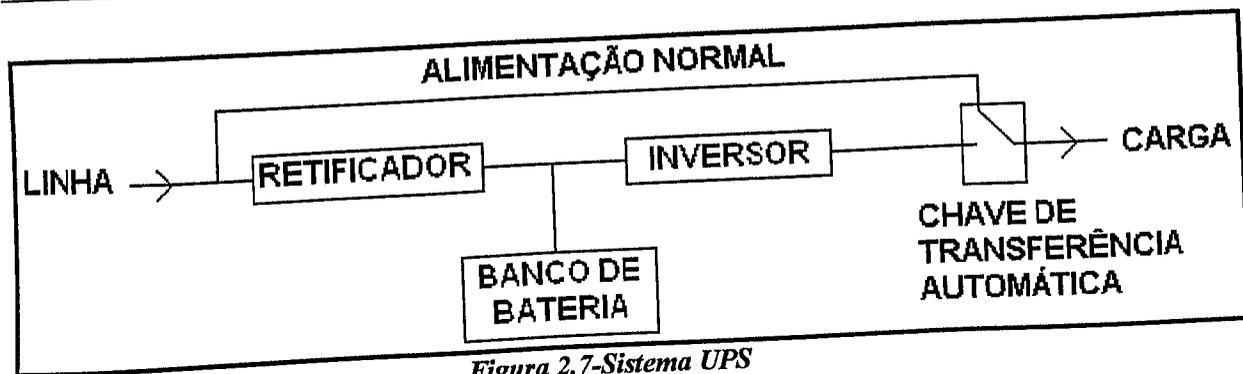


Figura 2.7-Sistema UPS

Este tipo de equipamento é mais utilizado para prevenção contra interrupções de energia, porém alguns modelos são disponíveis para atenuação das quedas de tensão momentâneas. A principal desvantagem do sistema UPS é o preço, visto que equipamentos para a potência de 600[VA], custam em média R\$300,00.

2.5.2) Estabilizadores de tensão

São destinados a manter a tensão dentro de um intervalo pré-determinado, sendo conectados entre a tensão da rede e a carga. Na seqüência, serão discutidas as diversas configurações deste tipo de equipamento [3].

(i) Estabilizador de Tensão Eletromecânico

Esta configuração tem sua estrutura básica mostrada na Figura 2.8.

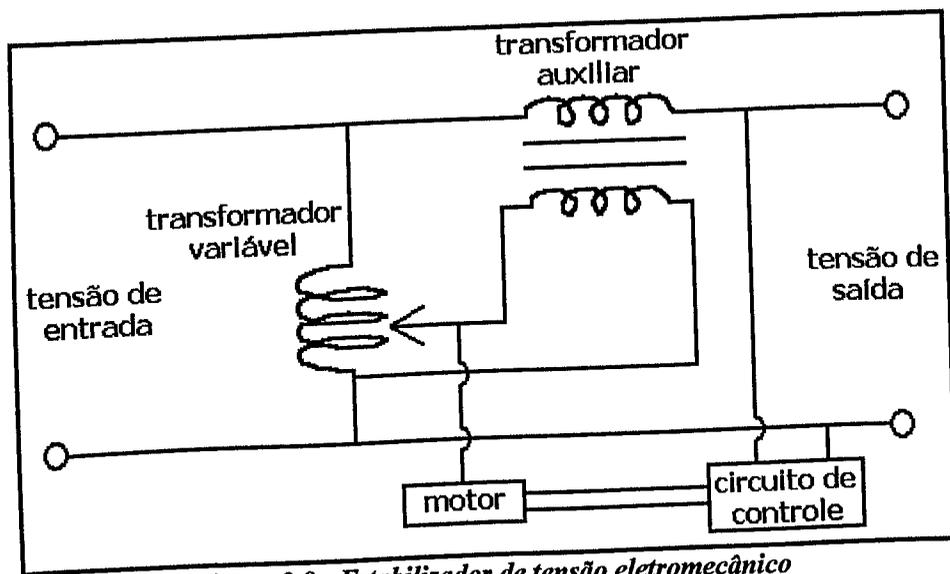


Figura 2.8 - Estabilizador de tensão eletromecânico

Este tipo de estabilizador tem como base um transformador variável, cujo cursor é controlado por um motor e um transformador auxiliar que é conectado em série com a carga. Se a tensão na carga sofrer uma variação, esta é detectada pelo circuito de controle, que aciona o motor e altera a posição do cursor. Desta forma, a tensão no enrolamento secundário do transformador auxiliar sofre uma variação, de modo que a tensão na carga assuma novamente o valor desejado. A regulação de tensão é razoável e a resposta dinâmica é lenta.

(ii) Estabilizador de tensão fundamentado no controle de fase.

Neste tipo de estabilizador, tem-se um banco de tiristores, em antiparalelo, conectados em série com a carga, conforme mostrado na Figura.2.9.

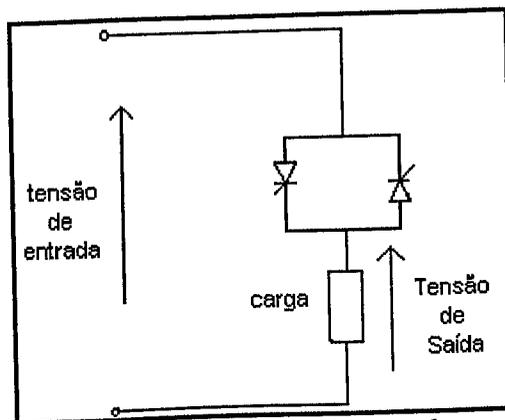


Figura.2.9 – Estabilizador de tensão fundamentado no controle de fase

O controle da amplitude da tensão na carga é realizado através do intervalo de condução dos tiristores. Se a tensão na carga assumir um valor maior que o nominal, o intervalo de condução dos tiristores se reduz, e aumenta quando o valor da tensão na carga diminui. Esta topologia também é encontrada no comercio, porém em menor escala.

(iii) Estabilizador de tensão a tiristor

A principal diferença entre este estabilizador e aquele mostrado na Figura.2.9 é a disposição do banco de tiristores, conforme mostra a Figura 2.10. Quando a tensão na carga está acima do valor nominal, o intervalo de condução dos tiristores aumenta e diminui quando a tensão na carga é menor que a nominal.

SISBI/UFU
204631

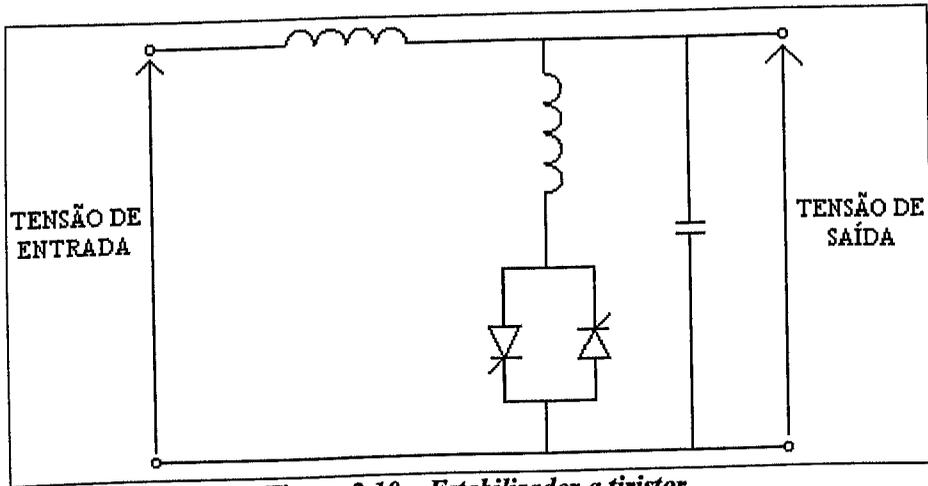


Figura 2.10 – Estabilizador a tiristor

(iv) Estabilizador de tensão a transistor

Este estabilizador, mostrado na Figura 2.11, consiste basicamente de dois transistores que funcionam como chaves. A amplitude da tensão de saída é controlada através da variação da razão cíclica das chaves. Quando o transistor T_1 está conduzindo, o transistor T_2 permanece bloqueado, e vice-versa.

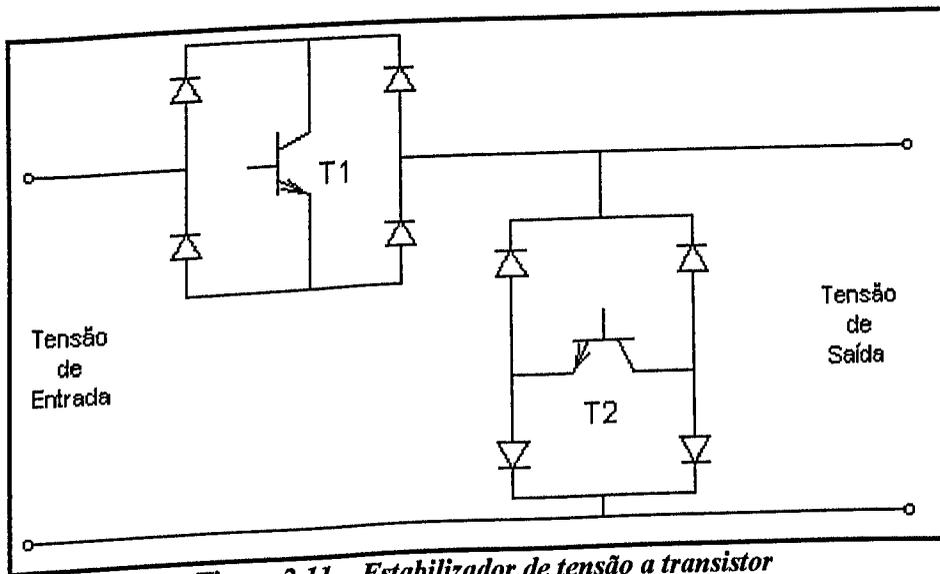


Figura 2.11 – Estabilizador de tensão a transistor

A resposta transitória deste estabilizador é bastante rápida e as componentes harmônicas de baixa ordem possuem amplitudes relativamente pequenas.

(v) Estabilizador de tensão a MOSFET's

Possui a mesma configuração do estabilizador mostrado anteriormente, sendo que os transistores são substituídos por MOSFET's, possibilitando o chaveamento em alta frequência.

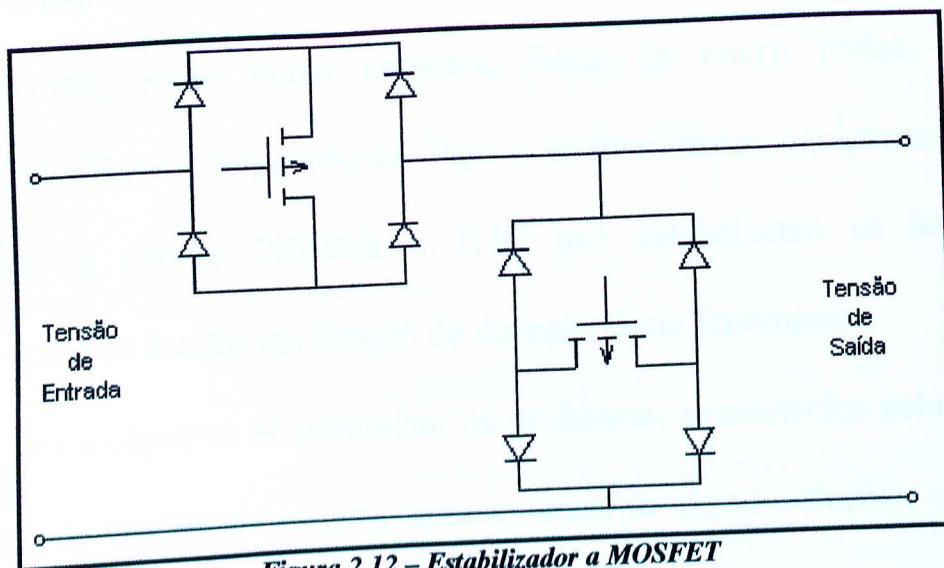


Figura 2.12 – Estabilizador a MOSFET

(vi) Estabilizador de tensão com transformador de ajuste

Esta topologia é a mais utilizada, sendo fabricado em larga escala e facilmente encontrado no comércio. Seu funcionamento consiste em adicionar ou subtrair tensão à carga através de um autotransformador, apresentando assim uma boa regulação de tensão. No capítulo 3, este equipamento será analisado com maiores detalhes.

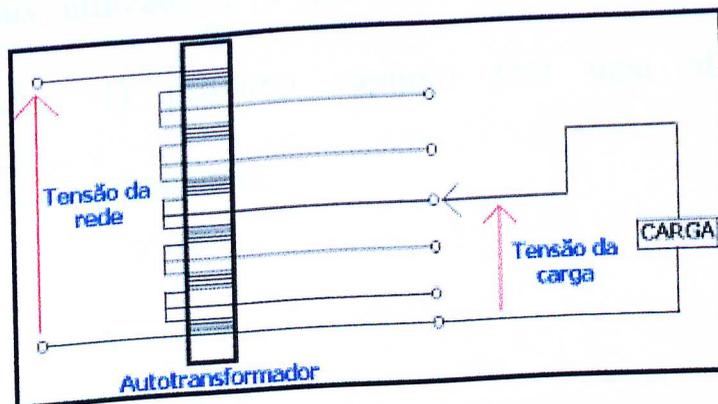


Figura 2.13 - Estabilizador com transformador de ajuste

2.6) CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foram discutidos os itens de qualidade da energia elétrica, dando maior destaque à queda de tensão momentânea, enfatizando as suas origens, os indicadores de suportabilidade e o impacto em diversos equipamentos, como vídeo cassetes, forno de micro ondas, relógios digitais, CLP's, e computadores. Para a análise destes equipamentos, são utilizadas as curvas CEBMA e ITIC que estabelecem os limites de afundamento de tensão em função da duração deste fenômeno.

Com o objetivo de minimizar os problemas ocasionados pela redução repentina de tensão às cargas, apresentaram-se como soluções o sistema UPS e o estabilizador. O primeiro é mais utilizado para prevenção contra interrupções de energia, tendo como principal desvantagem o preço elevado. O segundo tem por objetivo manter a tensão em níveis aceitáveis, sendo que a tensão da rede pode sofrer variações pré-determinadas, acima ou abaixo da nominal. Atualmente existem diversas configurações com características bem particulares. Entre as diversas topologias vistas neste capítulo, a mais utilizada é a que utiliza a variação de tap's de um autotransformador. O próximo capítulo fará uma abordagem mais aprofundada deste equipamento.

CAPÍTULO 3

PREMISSAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO ESTABILIZADOR ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO

3.1) CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em continuidade às apresentações anteriores, serão observadas as características do estabilizador mais encontrado no mercado, que funciona através da comutação de tap's de um autotransformador, associado a um custo e benefício que o torna atrativo. Estes equipamentos têm potência de 1[kVA] e não proporcionam isolação, já que o ajuste de tensão é via autotransformador. Também serão discutidos os problemas referentes a este tipo de equipamento, através de um estudo feito pelo INMETRO [12] e de ensaios em laboratório. Para tais propósitos, utilizar-se-ão estabilizadores dos fabricantes CLONE e SMS e dos aparelhos SD-05, para analisar as variações de tensão, e o *Harmonalyzer*, para distorções harmônicas e medição de potência. Os resultados serão discutidos à medida que forem apresentados. Em seguida, serão apresentadas as premissas para o desenvolvimento de um novo estabilizador de tensão. Para isto, é necessário conhecer as condições de funcionamento de um computador em

tensão inferior à nominal, dando enfoque diferente aos ensaios previamente realizados [11], pois desta vez será observado o comportamento em execução de programas e, sobretudo, verificando a potência dissipada por equipamentos de informática para diferentes tensões.

3.2) MATERIAIS E MÉTODOS

A realização dos ensaios consistiu em verificar o desempenho tanto dos estabilizadores, como dos aparelhos de informática, perante redução de tensão e o consumo de energia elétrica. Todos os experimentos desta dissertação foram realizados no laboratório de Cargas Elétricas Especiais da UFU e utilizando os equipamentos disponíveis, exceto o SD-05, que pertence à ACTIVA. Na seqüência serão descritos os mais importantes:

- **Harmonalyzer:** Aparelho de medição que detecta a presença de componentes harmônicas, fornecendo tensão, corrente, potências ativa, reativa e aparente, além do fator de potência que é apresentado com e sem a presença de harmônicos.



Figura 3.1 – Harmonalyzer

Este equipamento será utilizado para medição da potência consumida tanto dos estabilizadores, como dos aparelhos de informática, e também para levantamento das formas de onda de tensão e corrente, conforme o arranjo da Figura 3.8.

- **SD-05:** Trata-se de um analisador da tensão perante os diversos itens de qualidade, tais como distorção harmônica, quedas e elevações momentâneas de tensão, dec, fec etc. O aparelho tem três canais e os dados são constantemente transferidos para um computador e armazenados na memória. O *software* que mostra os resultados na tela do computador tem várias ferramentas estatísticas, tais como, histogramas, gráficos e tabelas, exibindo valores máximos, mínimos, médios e etc. Este produto é desenvolvido e comercializado pela ACTIVA.

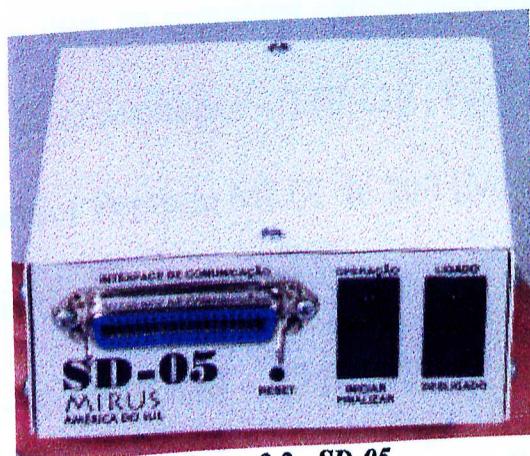


Figura 3.2 - SD-05

Este equipamento será utilizado para analisar o comportamento da tensão de saída de cada estabilizador, em função da variação de tensão da entrada. O arranjo para a elaboração deste teste está ilustrado na Figura 3.6.

Com o auxílio do mesmo aparelho será determinada a tensão mínima para garantir a qualidade de funcionamento dos aparelhos de informática. Para isto, será utilizado o arranjo da Figura 3.18, onde estes equipamentos serão submetidos a reduções gradativas de tensão até que a execução de programas fique comprometida.

- **Estabilizadores:** Neste trabalho foram analisados dois estabilizadores de 1[kVA], que são amplamente encontrados no comércio, o SMS e o CLONE. Ambos têm o mesmo princípio de funcionamento, a diferença é que o primeiro possui controlador digital e o segundo analógico. O estabilizador proposto para esta dissertação, denominado ET, será comentado no capítulo 4.

- **Aparelhos de informática:**

- Computador com as seguintes características:

- ✓ Tensão de alimentação – 110/220 [V_{RMS}]

- ✓ Processador Pentium MMX de 200 [MHz]

- ✓ Potência da fonte chaveada – 300 [W]

- Monitor 120/240 [V_{RMS}] - 1,3 [A_{RMS}]

- Impressora jato de tinta 120/240 [V_{RMS}] – 0,4 [A_{RMS}]

- *Scanner* de mesa 120/240 [V_{RMS}] – 0,4 [A_{RMS}].

- **“Varivolt”:** Autotransformador de bancada.

3.3) CARACTERÍSTICAS DOS ESTABILIZADORES DE 1kVA

Atualmente, a maioria dos estabilizadores de 1[kVA] sem transformador isolador se apresenta com a característica física da Figura 3.3. Na parte frontal, encontra-se uma chave liga-desliga com led's de indicação. Já na parte traseira, encontram-se quatro tomadas, filtro protetor para linha telefônica, chave seletora de tensão e porta fusível.

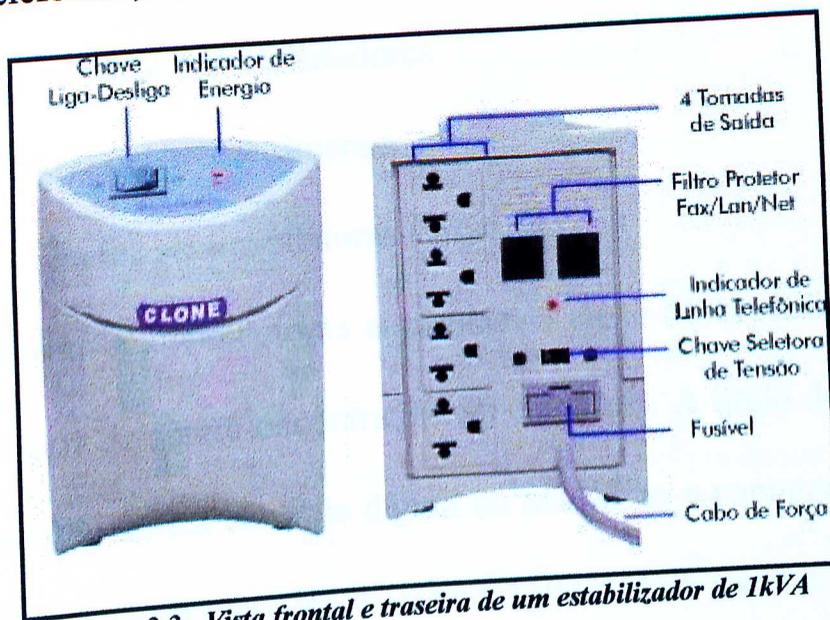


Figura 3.3 - Vista frontal e traseira de um estabilizador de 1kVA

Alguns fabricantes inserem, internamente, um filtro de linha, cuja função é eliminar o ruído contido na tensão de alimentação e também um protetor de surtos através de varistores conforme a Figura 3.4.

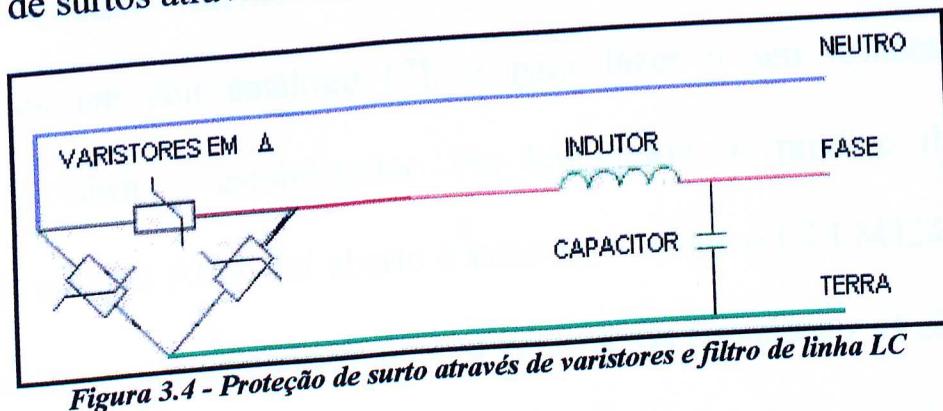


Figura 3.4 - Proteção de surto através de varistores e filtro de linha LC

Este tipo de equipamento funciona através da comutação de tap's de um autotransformador, como indica a Figura 2.13, sendo que o circuito de controle pode ser do tipo:

- i) Analógico, através de amplificadores operacionais.
- ii) Microprocessado.

Quanto ao chaveamento propriamente dito, encontram-se normalmente os seguintes comutadores:

- i) Relés eletromecânicos;
- ii) Chaves semicondutoras (triac ou scr)

As chaves semicondutoras aumentam o custo do estabilizador, o que os torna difíceis de serem encontrados no comércio. A título de exemplo, o equipamento que utiliza controle digital ou analógico e comutação por relés eletromecânicos, custa entre R\$ 40,00 e R\$50,00. Já o mesmo aparelho que possui chaves semicondutoras ao invés de relés tem um custo para o consumidor acima de R\$100,00.

O circuito interno destes equipamentos não é fornecido pelos fabricantes em seu catálogo [7], e para fazer o seu levantamento é necessário abrir o estabilizador. No laboratório, o produto da marca CLONE, modelo ARV, foi aberto e constatou-se que o CI LM324, de dois amplificadores operacionais, realiza o controle da comutação. O circuito de potência é composto por um autotransformador em que a tensão do secundário do mesmo é retificada em $12[V_{cc}]$ e utilizada na alimentação do

CI e na bobina de dois relés, que por sua vez realizam a comutação dos tap's . O diagrama completo é mostrado na Figura 3.5.

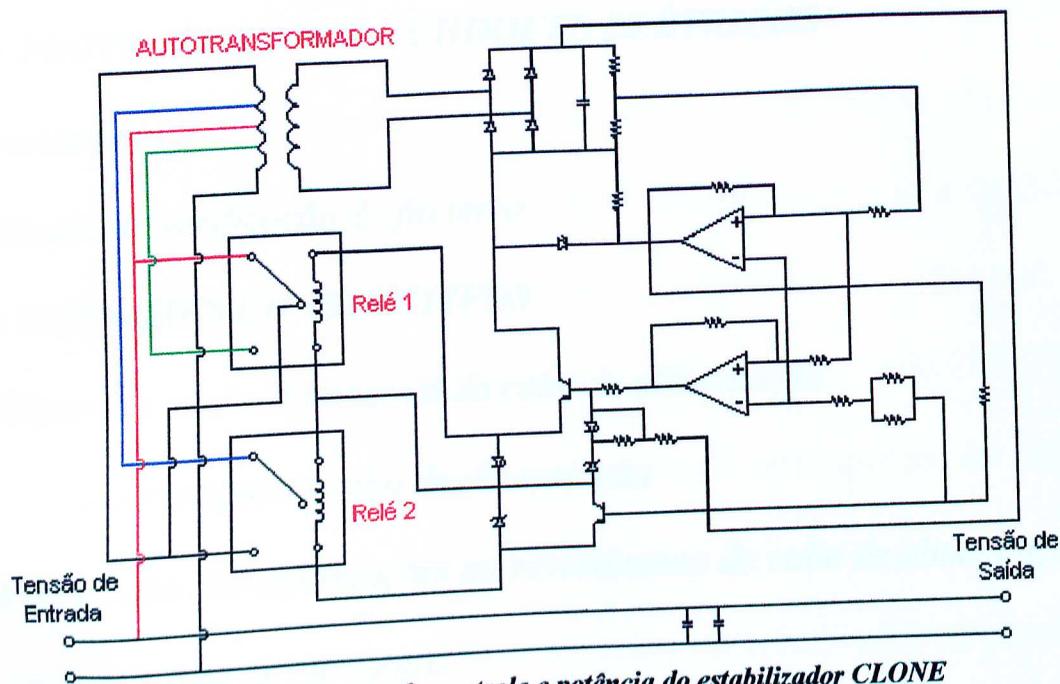


Figura 3.5 – Circuito de controle e potência do estabilizador CLONE

3.3.1) Problemas operacionais inerentes aos estabilizadores de 1kVA.

Esta dissertação tem como apoio uma análise realizada no ano de 1996, pelo INMETRO [12] no laboratório do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). Os equipamentos avaliados foram os estabilizadores de 1[kVA], que utilizam a variação de tap's de um autotransformador (não isolado). Foram analisadas oito marcas diferentes e os experimentos divididos em quatro classes descritas a seguir.

(i) DESEMPENHO

- ✓ Ensaio de regulação estática de carga
- ✓ Ensaio de rendimento
- ✓ Ensaio de tempo de resposta

(ii) RISCO DE INCÊNDIO

- ✓ *Ensaio de temperatura no transformador*

(iii) PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS

- ✓ *Isolamento*
- ✓ *Ensaio de verificação do fio terra*

(iv) DETALHES CONSTRUTIVOS

- ✓ *Ensaio da seção transversal do cabo de alimentação*
- ✓ *Ensaio de tração no cabo de alimentação*
- ✓ *Verificação das informações no revestimento do cabo de alimentação*
- ✓ *Ensaio do raio de curvatura*

Tendo em vista a inexistência de uma norma brasileira específica para estabilizadores de tensão, o INMETRO utilizou a norma internacional IEC 686-1/1980 – *Stabilized Power Supply, ac outup*, verificando também a conformidade aos requisitos de segurança das normas brasileiras para aparelhos eletrodomésticos de pequeno porte e que, portanto, se aplicam à estabilizadores de tensão:

- NBR 10491/1988
- NBR 10492/1988

O resultado mostrou que uma das marcas foi aprovada quanto ao risco de incêndio, sendo reprovada nos outros quesitos, já as demais marcas foram reprovadas em todas as classes. Os problemas observados dizem

respeito não só ao desempenho, como também à segurança para o ser humano. Os estabilizadores além, de não estabilizarem a tensão nos níveis informados pelos fabricantes, não têm condições (a menos de uma marca) de trabalhar continuamente na potência prevista, aquecendo até atingir elevados níveis de temperatura. Esta análise deixou claro que a qualidade dos estabilizadores de tensão de 1[kVA], não isolados, não está em conformidade com os requisitos das normas aplicáveis. O INMETRO [12] ressalta, ainda, que as conclusões se aplicam não apenas às marcas analisadas, mas sim a todo um mercado de fabricantes. As conclusões denotam que estes equipamentos não oferecem ao consumidor os requisitos mínimos de segurança e de desempenho. Esta análise foi divulgada pela imprensa em televisão e jornal. Quanto ao nome das marcas analisadas, o INMETRO, não as divulga atualmente.

3.4) O IMPACTO DO DESEMPENHO DOS ESTABILIZADORES.

Como visto anteriormente, o INMETRO [12] destacou os requisitos de desempenho, risco de incêndio, proteção contra choques elétricos e detalhes construtivos. Os ensaios realizados nesta dissertação enfocarão somente o desempenho dos estabilizadores sob o ponto de vista das tensões de entrada e saída, assim como elevação do consumo de energia. Para isto foram selecionados dois aparelhos de tradicionais fabricantes atuantes no mercado, que são o SMS e CLONE.

3.4.1) Análise do estabilizador de 1kVA não isolado do fabricante SMS

Como uma das primeiras contribuições desta dissertação, procedeu-se no laboratório segundo o arranjo da Figura 3.6, mantendo-se a tensão em $127[V_{RMS}]$, reduzindo-a em intervalos de 5%, até que o computador fosse desligado. Para este ensaio inicial, utilizou-se o estabilizador SMS que possui um microprocessador no seu circuito de controle. Para tanto, admitiu-se que as tensões nominais e operacionais são:

- *Entrada nominal:* $127 [V_{RMS}]$
- *Entrada operacional:* $127 [V_{RMS}]$ (ajustada)
- *Saída nominal :* $127 [V_{RMS}]$
- *Saída operacional:* $120 [V_{RMS}]$

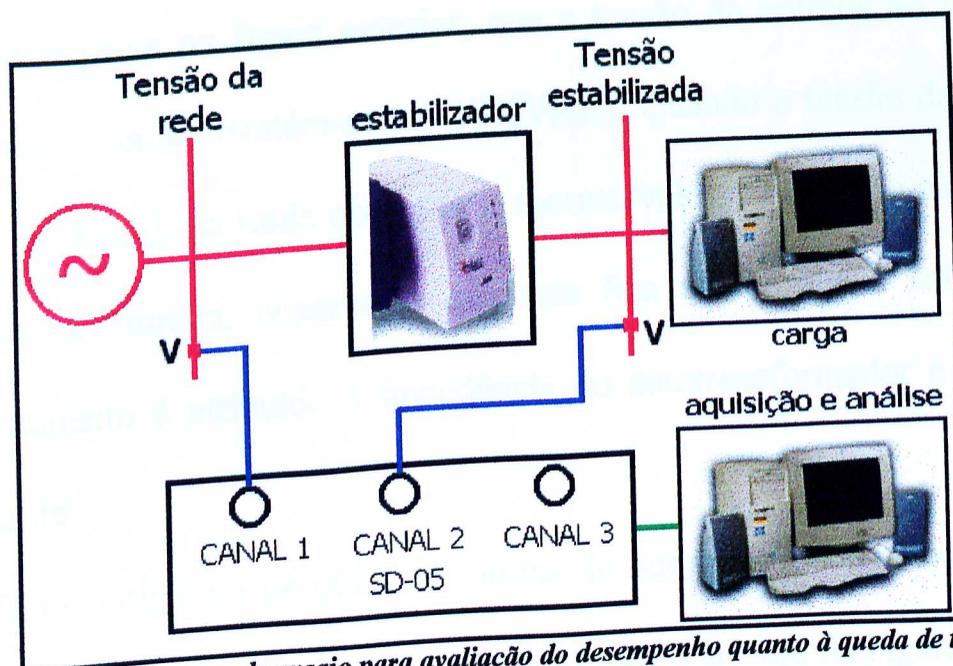


Figura 3.6 - Diagrama de ensaio para avaliação do desempenho quanto à queda de tensão

A CPU e o monitor foram conectados nas tomadas disponíveis do estabilizador. Na figura acima, há outro computador além do utilizado

como carga, este tem como objetivo coletar e analisar os dados fornecidos pelo SD-05. Como resultado das medições, este equipamento mostra, na Figura 3.7, o comportamento da tensão de saída em função das variações da entrada.

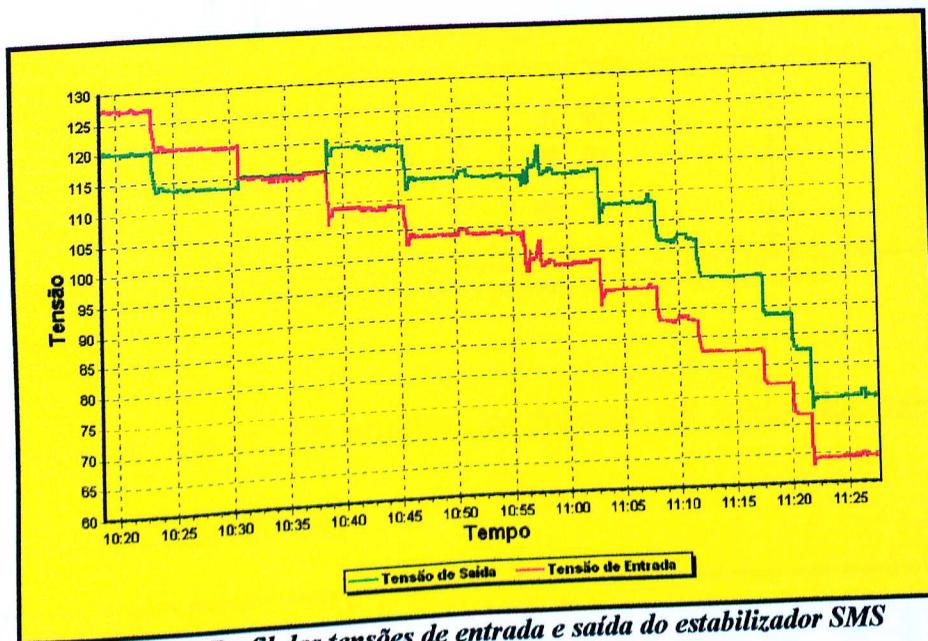


Figura 3.7 - Perfil das tensões de entrada e saída do estabilizador SMS

Observa-se na figura anterior, que a tensão de entrada ao estar em 127[V_{RMS}], a saída mantém-se em 120[V_{RMS}]. Quando a tensão de entrada atinge 115[V_{RMS}], na saída obtém-se o mesmo valor. Reduzindo ainda mais a tensão de entrada, observa-se que esta fica menor que a saída. Este comportamento é atribuído à impedância do autotransformador e à lógica de controle.

Com o objetivo de obter as formas de ondas de tensão, corrente e a potência consumida, procedeu-se de acordo com o arranjo da Figura 3.8.

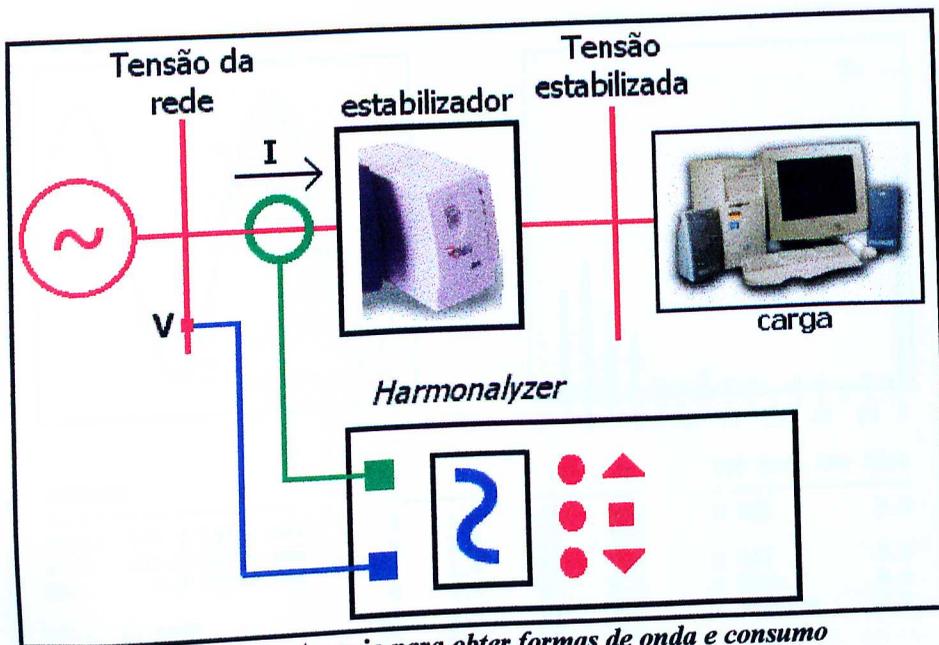


Figura 3.8– Arranjo para obter formas de onda e consumo

Inicialmente foram levantadas as formas de onda das tensões de entrada e saída do estabilizador.

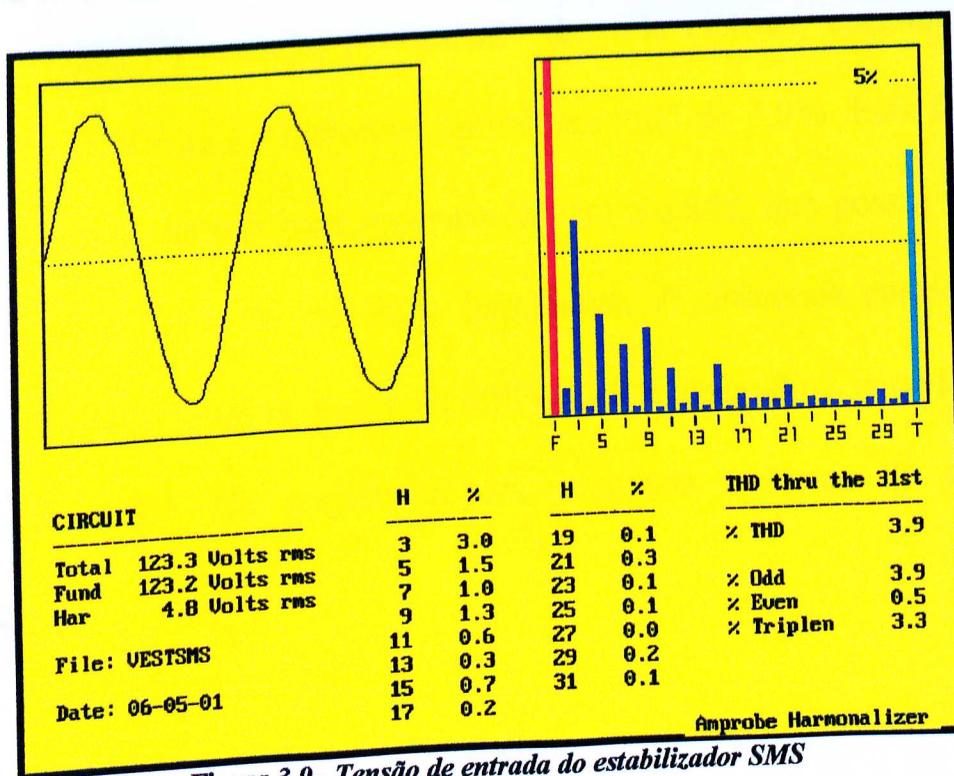


Figura 3.9– Tensão de entrada do estabilizador SMS

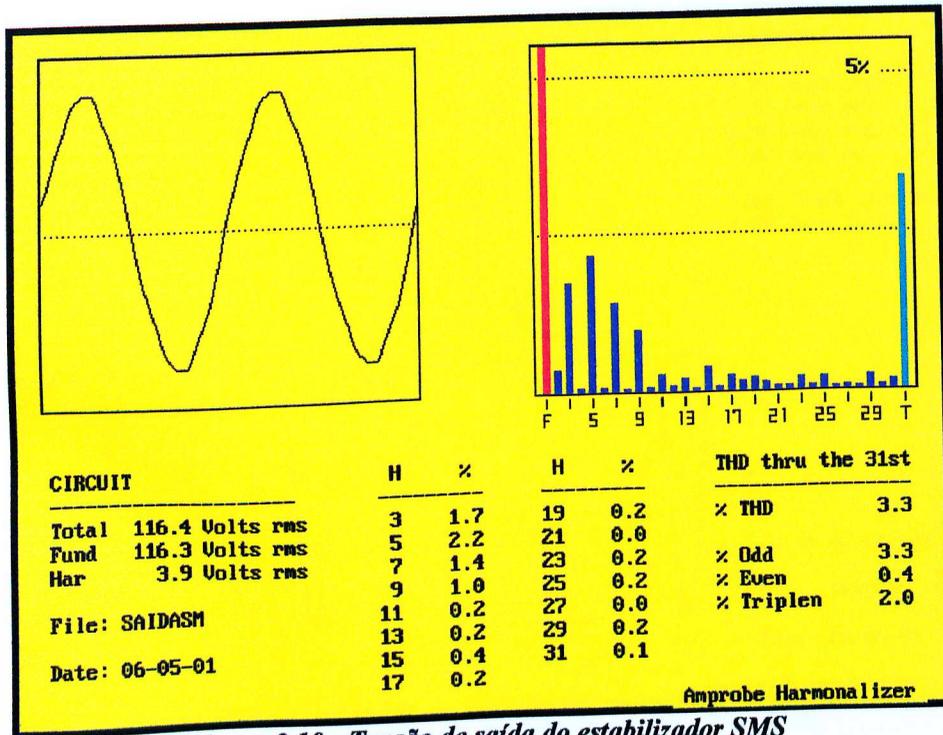


Figura 3.10 - Tensão de saída do estabilizador SMS

A tensão de entrada, proveniente da rede elétrica, apresenta valor eficaz de $123,3[V_{RMS}]$ e distorção harmônica total de 3,9%. Esta forma de onda foi plotada apenas para compará-la com a saída, que possui valor de $116,4[V_{RMS}]$ e 3,3% de distorção harmônica. A diferença entre o valor nominal das duas tensões, que é de $6,9[V_{RMS}]$, é atribuído à impedância do autotransformador. Na seqüência será analisada a forma de onda da corrente.

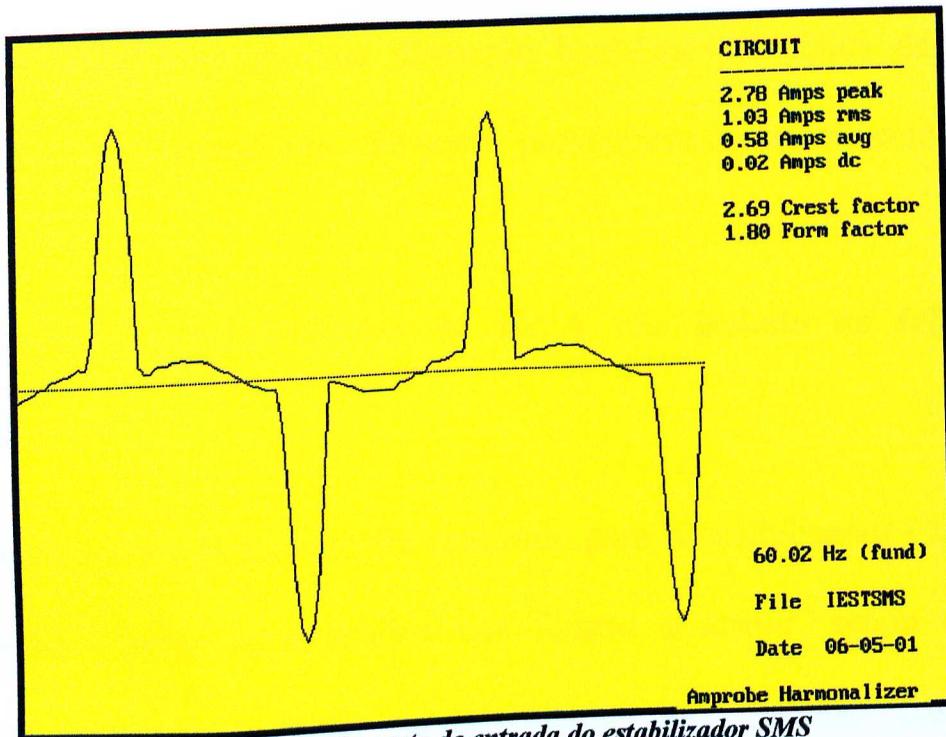


Figura 3.11– Corrente de entrada do estabilizador SMS

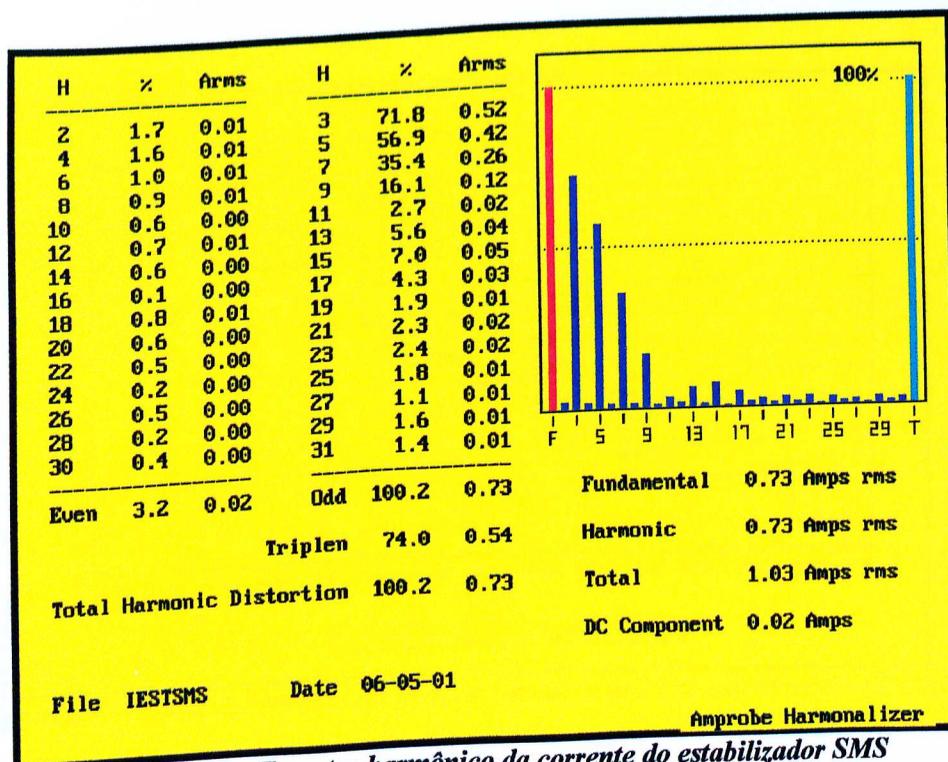


Figura 3.12 - Espectro harmônico da corrente do estabilizador SMS

Apenas a corrente de entrada foi apresentada, pois é ela que determina a potência consumida. O seu valor é de 1,03[A_{RMS}] e distorção harmônica total de 100,2%, com predominância das ordens ímpares. Esta

forma de onda, com elevada distorção harmônica, é típica das fontes chaveadas dos computadores, não sendo proveniente do estabilizador.

3.4.2) Análise do estabilizador de 1kVA não isolado do fabricante CLONE

O mesmo procedimento foi realizado para o estabilizador CLONE e os resultados serão apresentados nas figuras a seguir, sendo que, os mesmos comentários feitos anteriormente são válidos para este equipamento, assim não há necessidade de fazer a discussão novamente.

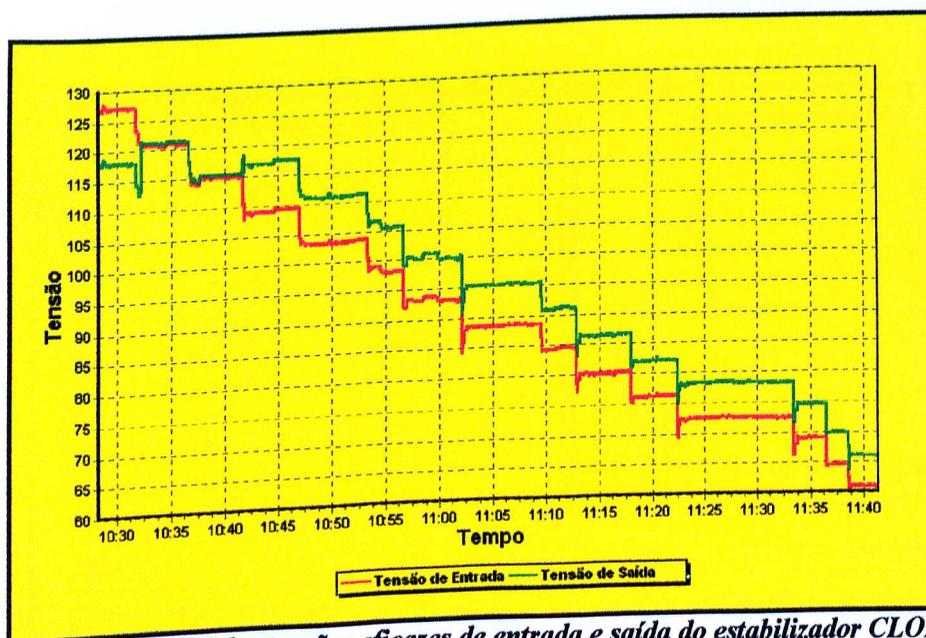


Figura 3.13– Perfil das tensões eficazes de entrada e saída do estabilizador CLONE

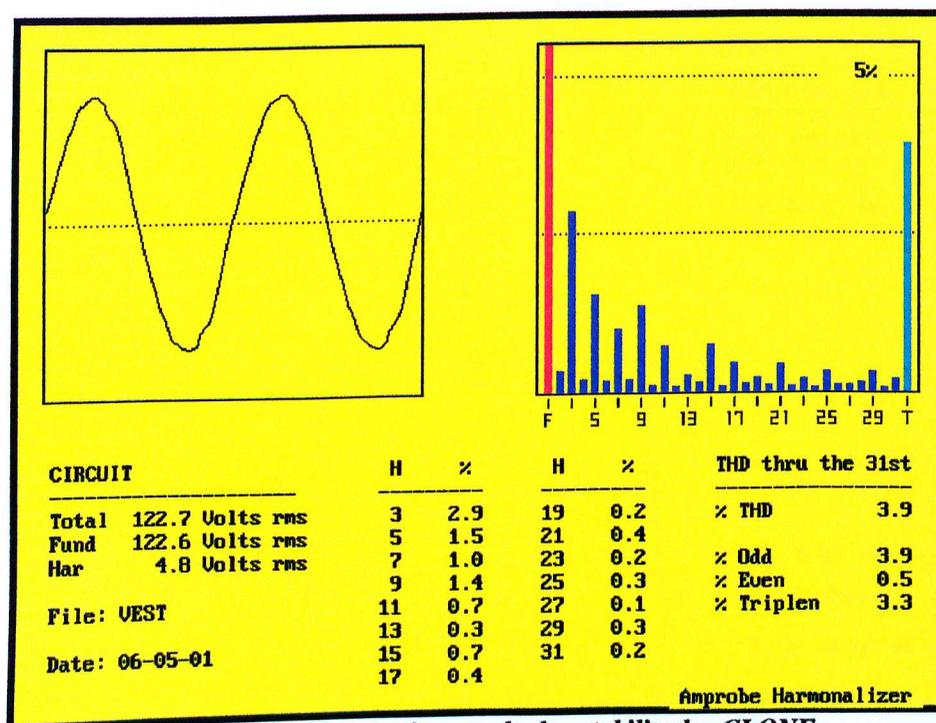


Figura 3.14– Tensão de entrada do estabilizador CLONE

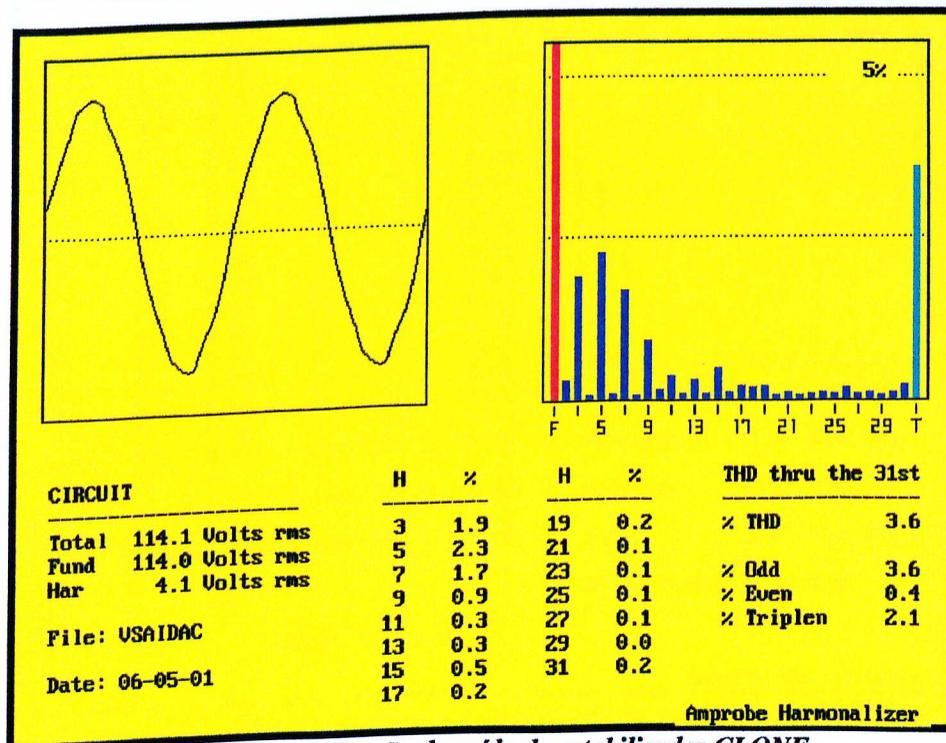


Figura 3.15 - Tensão de saída do estabilizador CLONE

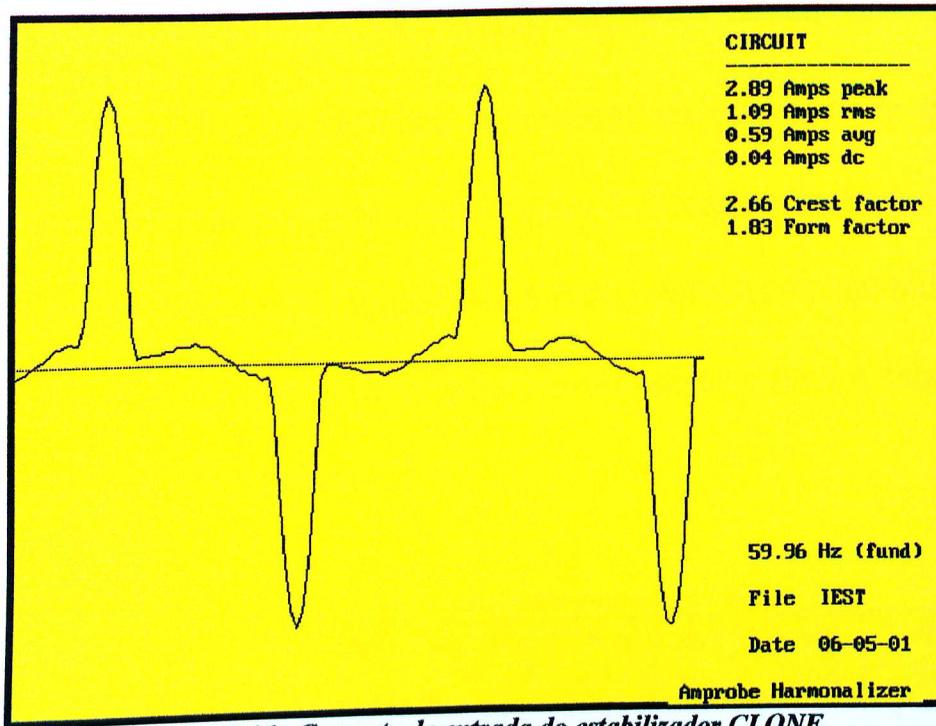


Figura 3.16– Corrente de entrada do estabilizador CLONE

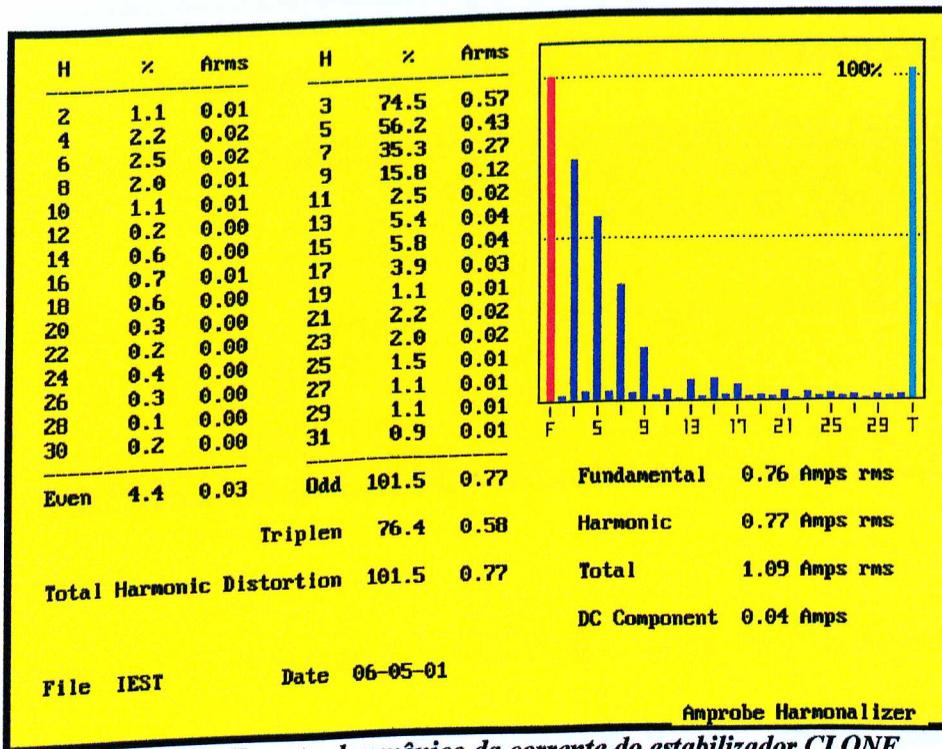


Figura 3.17 - Espectro harmônico da corrente do estabilizador CLONE

3.5) AUMENTO DA POTÊNCIA CONSUMIDA

O uso do estabilizador provoca o aumento no consumo de energia elétrica. Utilizando o mesmo arranjo da Figura 3.8 realizaram-se medições com o computador conectado diretamente à rede e através de estabilizador. Os valores das medições fornecidos pelo *Harmonalyzer*, para o fabricante SMS, foram dispostos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Aumento da potência consumida para o estabilizador SMS

Grandezas	Computador sem Estabilizador	Computador com Estabilizador SMS	Diferença (%) em relação ao computador sem Estabilizador
P	80,00	87,50	9,38
Q	3,90	11,70	200,00
S	80,09	88,27	10,21
Fator de Potência	1,00	0,99	-1,10

Da mesma forma, tem-se a Tabela 3.2 para o fabricante CLONE.

Tabela 3.2- Aumento da potência consumida para o estabilizador CLONE

Grandezas	Computador sem Estabilizador	Computador com Estabilizador CLONE	Diferença (%) em relação ao computador sem Estabilizador
P	80,00	89,10	11,38
Q	3,90	7,20	84,61
S	80,09	89,39	10,40
Fator de Potência	1,00	1,00	0,00

Analisando os resultados destas medições, verifica-se que o computador utilizado neste trabalho consome 80[W], ao ser alimentado diretamente da rede. Quando o mesmo é conectado através de um estabilizador SMS passa a consumir 87,5[W], ou seja, há um aumento de

9,38%. Para o fabricante CLONE, o computador passa a consumir 89,1[W], elevando o consumo para 11,38%. Este aumento é atribuído às perdas dos componentes eletrônicos da placa de circuito impresso e principalmente à dissipação do autotransformador.

Também observa-se que o consumo da potência reativa é maior, devido à característica indutiva do autotransformador. Como há aumento respectivo das potências ativa e reativa, o fator de potência praticamente permaneceu inalterado, apresentando pequena redução para o SMS e nenhuma variação para o CLONE.

Na seqüência, a dissertação procederá a um teste para determinar a tensão mínima de funcionamento de um computador.

3.6) FUNCIONAMENTO DO COMPUTADOR EM TENSÃO ABAIXO DA NOMINAL.

Para verificar a suportabilidade do computador funcionar abaixo da tensão nominal, foram montados no laboratório, os arranjos da Figura 3.18, onde foi estabelecido um teste em duas situações.

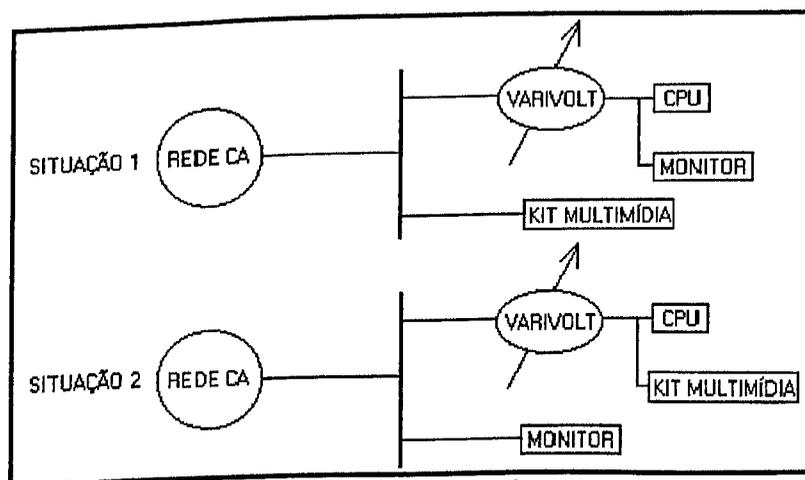


Figura 3.18 – Arranjo para analisar o funcionamento de equipamentos de informática em tensão abaixo da nominal

A situação 1 consiste em conectar o monitor na tomada disponível na CPU, ligando o kit multimídia em outro circuito. Já na situação 2, o monitor e a CPU são conectados em tomadas distintas, porém o kit multimídia no mesmo circuito desta. Na referência [11], o ensaio consistiu em aplicar subtensões momentâneas com durações de poucos ciclos em um computador que não estava executando programas e como resultado, obteve-se a curva de sensibilidade mostrada na Figura 2.6. Para este trabalho, o computador estará executando os programas de áudio e acesso à Internet, sendo submetido a subtensões permanentes.

Com o auxílio de um “varivolt”, a tensão foi reduzida de $125[V_{RMS}]$ em intervalos de $5[V_{RMS}]$ e com duração de 5 minutos até que fossem constatados problemas no funcionamento.

Na situação 1, reduzindo-se a tensão do conjunto CPU e monitor, foram observados os seguintes acontecimentos:

- Abaixo de $85 [V_{RMS}]$ a tela do monitor começa apresentar ondulações.
- A partir de $65 [V_{RMS}]$, o monitor apresentava um forte ruído e, por precaução, decidiu-se não reduzir mais a tensão para não danificar o equipamento.

Na situação 2, adotou-se o mesmo procedimento, porém desta vez reduziu-se a tensão do conjunto CPU e Kit Multimídia e foram constatados os seguintes acontecimentos:

- Com 65 [V_{RMS}], começou a “chuviscar” na tela do monitor.
- Em 60 [V_{RMS}], iniciam-se problemas no áudio.
- Abaixo de 60 [V_{RMS}], o computador foi desligado, com a Internet ainda acessada.

Através deste experimento conclui-se que a tensão mínima para o funcionamento dos equipamentos de informática é de 85[V_{RMS}], admitindo a qualidade de funcionamento do monitor, que é afetada quando a tensão cai abaixo deste valor. Assim a nova curva de sensibilidade proposta nesta dissertação para o computador, levando em consideração a execução de programas, está descrita na Figura 3.19.

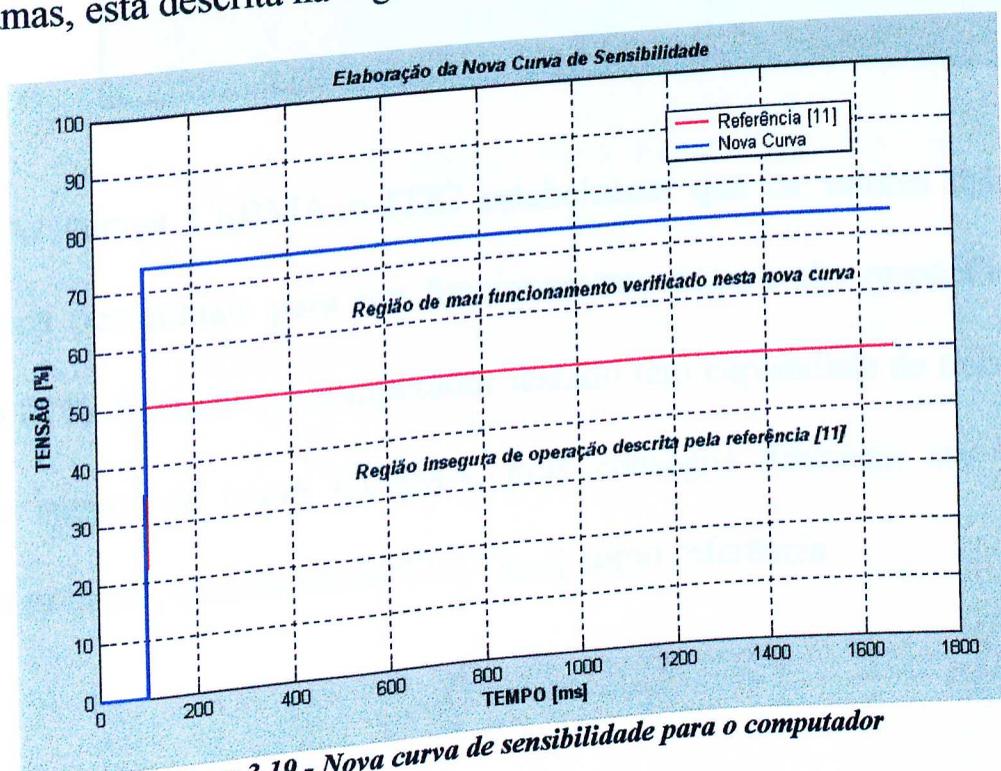


Figura 3.19 - Nova curva de sensibilidade para o computador

Assim um estabilizador tem a função de não deixar a tensão cair abaixo de $85[V_{RMS}]$. Ressaltando que este valor mínimo de tensão está sendo considerado para manter a qualidade de funcionamento do monitor, outros equipamentos podem ter outro valor mínimo de tensão segura.

Os fabricantes de aparelhos de informática adotam tensões de referência para seus produtos, que mudam para diversas marcas. Na Tabela 3.3, encontram-se as tensões mínimas suportáveis em $[V_{RMS}]$ e em valores percentuais para as distintas tensões de referência.

Tabela 3.3– Tensões de referência e suportáveis pelo computador.

Tensão de referência [V_{RMS}]	Tensão mínima suportável [V_{RMS}]	Tensão de referência [%]	Tensão mínima suportável [%]
127	85	100	70
115	85	100	74
110	85	100	77
100	85	100	85

As curvas CEBMA e ITIC estabelecem que os valores máximos e mínimos percentuais para um funcionamento seguro são respectivamente, 106 e 87%. Portanto, o computador testado tem capacidade de trabalhar na região segura da curva CEBMA, pois consegue funcionar até 70% da tensão nominal, considerando $127[V_{RMS}]$ como referência.

3.7) AS PREMISSAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO ESTABILIZADOR DE TENSÃO.

É comum o usuário dos recursos de informática ter um estabilizador alimentando um computador, monitor, impressora e *scanner*. Em função destas características, procedeu-se a outro teste no laboratório para medir o consumo de energia destes equipamentos de acordo com a tensão de alimentação. As medições realizaram-se variando a tensão no intervalo de 90 a 127[V_{RMS}], com incremento de 5[V_{RMS}] e medindo o respectivo consumo através do *Harmonalyzer*.

O monitor foi conectado juntamente com a CPU e executando os programas de áudio e acesso à Internet. Para cada nível de tensão foram efetuadas cinco medições e calculado o consumo médio de cada equipamento. O resultado desta análise encontra-se na Tabela 3.4 e na Figura 3.20, onde os dados desta tabela foram dispostos em forma de gráfico.

Tabela 3.4 - Consumo médio dos equipamentos de informática em função da tensão

Equipamento	127 [V _{RMS}]	125 [V _{RMS}]	120 [V _{RMS}]	115 [V _{RMS}]	110 [V _{RMS}]	105 [V _{RMS}]	100 [V _{RMS}]	95 [V _{RMS}]	90 [V _{RMS}]
Micro[W]	96.49	97.28	96.4	96.67	97.1	97.13	96.48	98.45	96.37
Micro c/ kit multimídia[W]	113.2	107.17	106.5	108.11	106.86	109.05	115.03	115.08	109.7
Impressora[W]	14.05	15.04	16.3	17	17.5	17.97	16.05	17.8	17.6
Scanner[W]	10.5	10.52	10.47	10.15	10.4	10.45	10.25	10.37	10.38

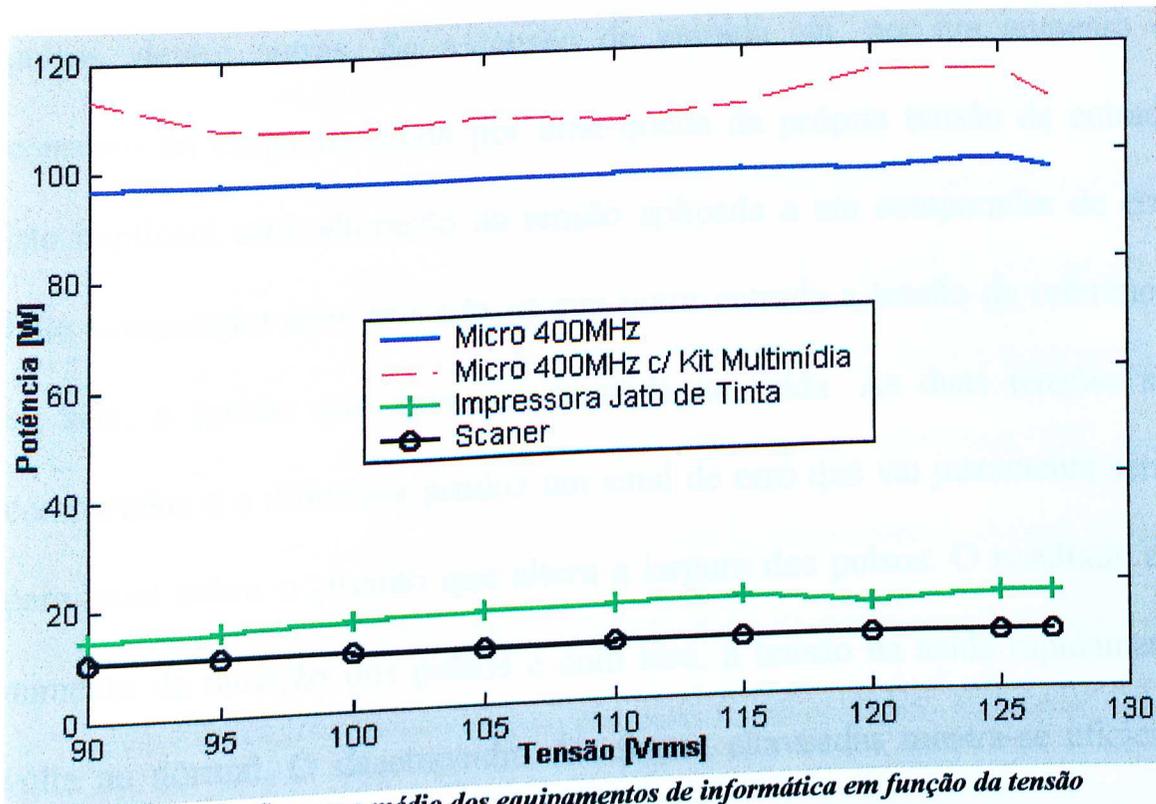


Figura 3.20– Consumo médio dos equipamentos de informática em função da tensão

Observa-se na figura anterior, que a potência requerida por estes equipamentos apresenta uma variação muito pequena em função da tensão de alimentação. Porém, quando o computador utiliza os recursos de multimídia, observa-se uma variação maior no consumo devido à execução do programa.

Através deste ensaio, observa-se que os equipamentos de informática conseguem atuar em um determinado intervalo de tensão sem o comprometimento de seu funcionamento. Isto se deve à atuação das fontes chaveadas [8]. Os elementos principais de uma fonte chaveada são o retificador, o circuito de controle e de potência. O circuito de controle comanda o chaveamento. Para isto, utiliza-se um único CI, que realiza as funções de amplificador de erro, oscilador, modulador em largura de

pulsos, dentre outras. Se a tensão de entrada cai, por um aumento do consumo da carga ou ainda por uma queda da própria tensão de entrada, isto implicará uma alteração na tensão aplicada a um comparador de erro. Este comparador tem aplicada na sua outra entrada a tensão de referência, ou seja, a tensão que deve ser mantida na saída. As duas tensões são comparadas e a diferença produz um sinal de erro que vai justamente servir para atuar sobre o circuito que altera a largura dos pulsos. O resultado é o aumento da duração dos pulsos e com isso, a tensão na saída rapidamente volta ao normal. O desempenho das fontes chaveadas mostra-se eficiente também na presença de distorção harmônica, este fato foi apresentado na referência [11].

3.8) CONSIDERAÇÕES FINAIS

No capítulo 3, analisaram-se as características físicas e operacionais do estabilizador com autotransformador de ajuste, enfocando o desempenho e os problemas inerentes. Os fabricantes destes equipamentos não mostram os detalhes construtivos em seus catálogos [7], sendo necessário abri-los para compreender o seu funcionamento. Assim pôde-se concluir que os dois fabricantes analisados nesta dissertação utilizam dois relés na comutação dos tap's de um autotransformador. Em uma análise realizada previamente pelo INMETRO [12], constatou-se que a própria topologia deste equipamento não é eficaz perante o desempenho e a segurança ao usuário. Através de ensaios realizados nesta dissertação, constatou-se que estes equipamentos não geram componentes harmônicas, porém têm o inconveniente de elevar o consumo de energia em torno de 10%. No ensaio que analisou a suportabilidade do computador, verificou-se que o mesmo pode funcionar com a tensão mínima de $85[V_{RMS}]$, sem apresentar mau funcionamento dos programas e ondulações na tela do monitor, o que permite a tensão cair até 30% do valor nominal de $127[V_{RMS}]$. Analisando os demais periféricos, concluiu-se que estes podem funcionar perfeitamente com tensão entre 90 e $127[V_{RMS}]$, não acarretando problemas na execução de programas e no consumo de energia.

CAPÍTULO 4

PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO ESTABILIZADOR DE TENSÃO

4.1) CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo, será apresentado um novo estabilizador eletrônico com vantagens superiores ao estudado no capítulo anterior, ou seja, aquele que mantém a tensão na carga através de um autotransformador. Pretende-se desenvolver um equipamento com menores perdas, baixo custo para o consumidor e tamanho físico reduzido. As marcas anteriormente analisadas nesta dissertação apresentam perdas na ordem de 10% e custam entre R\$40,00 e R\$50,00, já o novo estabilizador será dimensionado para que tenha perdas de no máximo 2,0% e custo de R\$25,00, contribuindo assim para a redução do desperdício de energia elétrica. Também será implementada uma nova filosofia de proteção para a carga contra distúrbios de longa duração, na qual o circuito de controle está programado para desconectar a carga caso a tensão de entrada fique fora de níveis aceitáveis.

4.2) FUNCIONAMENTO DO ESTABILIZADOR PROPOSTO

Este estabilizador denominado ET, foi desenvolvido em parceria com a ACTIVA Serviços Especiais LTDA, que financiou os custos deste

projeto. O trabalho referente a esta dissertação reservou-se na elaboração do *software* e no projeto do *hardware*, da unidade de controle, já a montagem física do aparelho, tais como confecção da placa de circuito impresso e acabamento final, ficaram a cargo da ACTIVA. Atualmente, o equipamento encontra-se em fase de adaptação jurídica para que seja aprovado pelos órgãos competentes com relação às normas técnicas pertinentes. Em função disto, esta empresa obteve autorização da Junta Comercial de Minas Gerais 2649457 de 06/09/2001.

O novo equipamento tem seu princípio de funcionamento similar ao estabilizador com controle de fase descrito no capítulo 2, ou seja, a tensão de saída é regulada através do ângulo de disparo de um triac em série com a carga, porém será implementada uma técnica de controle digital.

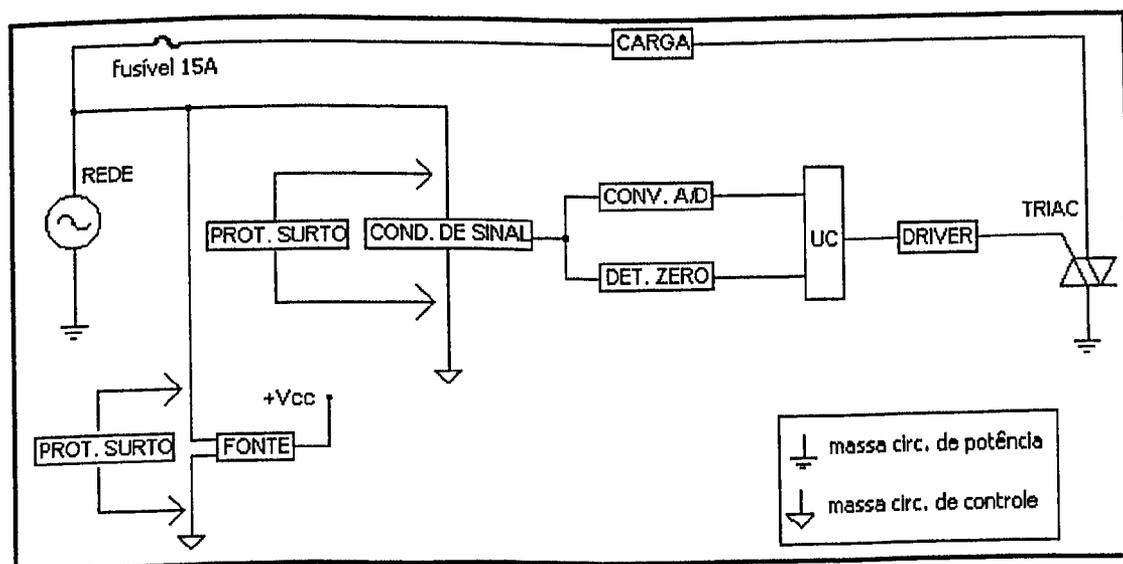


Figura 4.1 – Diagrama de blocos do estabilizador proposto ET

O ET será disponibilizado com duas massas, sendo uma para o circuito de controle e outra para o de potência, com o objetivo de garantir a isolamento completa entre o comando de disparo e o triac.

4.2.1) Estratégia de controle

O fluxograma a seguir mostra as etapas envolvidas no processo. As variáveis envolvidas são as tensões da rede (V_{rede}), da saída do estabilizador (V_{est}) e o valor do ângulo de disparo α .

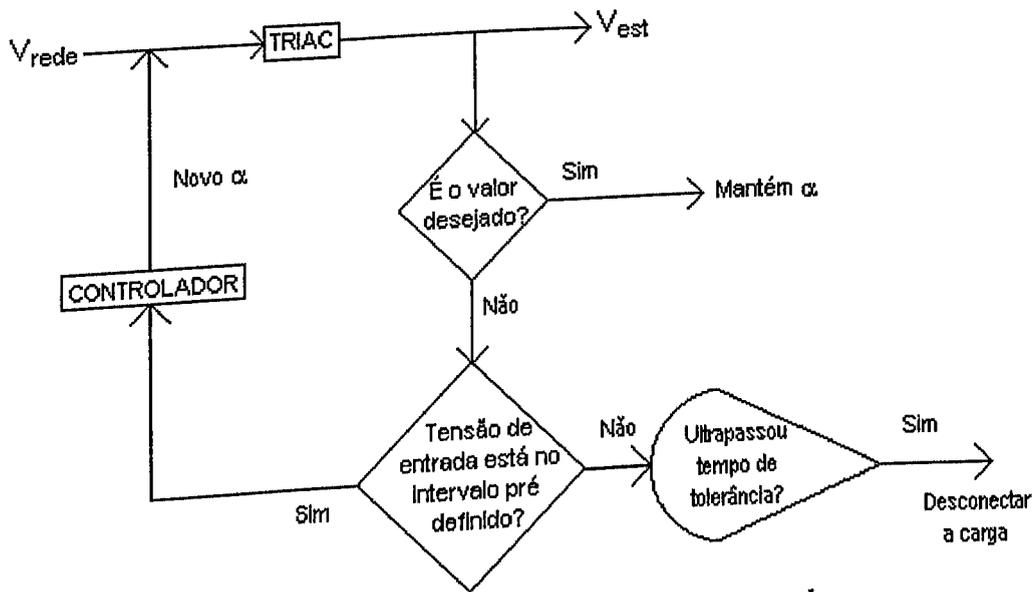


Figura 4.2 – Fluxograma da estratégia de controle

A unidade de controle do estabilizador é comandada por um *software* gravado no microcontrolador interno. Este programa tem como função, determinar o instante em que o triac será disparado, mantendo assim a tensão de saída do estabilizador no valor desejado. Esta estratégia de controle, que calcula o ângulo de disparo, é fundamentada no desenvolvimento matemático a seguir.

Sabendo que o valor eficaz da tensão, representada no domínio do tempo, é dado pela Equação 4.1:

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (V_{pico} \text{sen}\omega t)^2 d\omega t} \quad (4.1)$$

Uma forma de onda “recortada” nos semiciclos positivo e negativo, terá seu valor eficaz dado pela Equação 4.2:

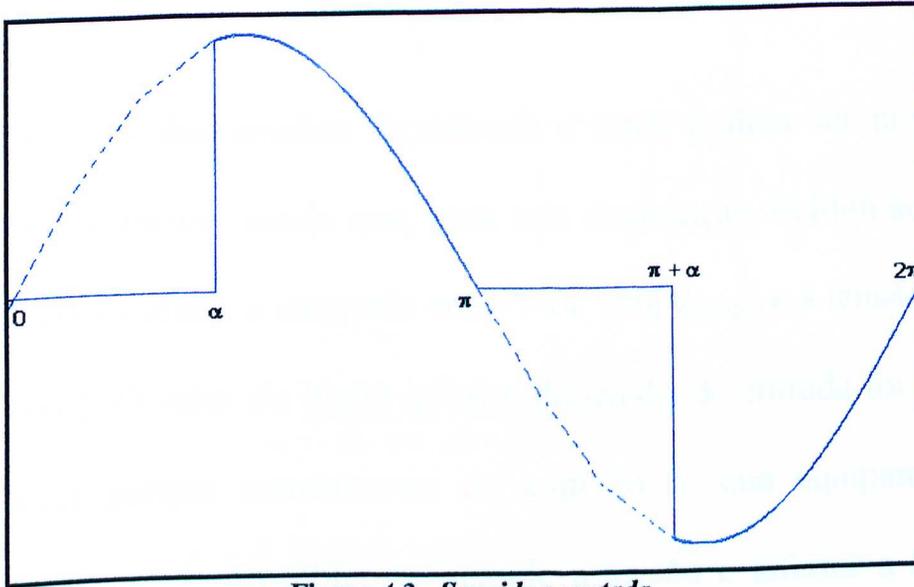


Figura 4.3 - Senoide recortada.

$$V_{est} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2}V_{rede} \text{sen}\omega t)^2 d\omega t + \int_{\pi+\alpha}^{2\pi} (\sqrt{2}V_{rede} \text{sen}\omega t)^2 d\omega t \right]} \quad (4.2)$$

Desenvolvendo as integrais do segundo membro e fazendo algumas manipulações algébricas, determina-se a função matemática do ângulo de disparo, sendo esta apresentada na Equação 4.3:

$$\frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} - \alpha + \pi \left[1 - \left(\frac{V_{est}}{V_{rede}} \right)^2 \right] = 0 \quad (4.3)$$

Para esta equação, todas as variáveis são conhecidas, com exceção do ângulo α , que é a incógnita do programa. O cálculo deste ângulo é feito de forma iterativa.

Como dados de entrada, tem-se a tensão desejada na saída do estabilizador V_{est} , que é constante, e a tensão da rede V_{rede} , que pode sofrer

variações a qualquer momento, sendo que qualquer variação deste valor resulta automaticamente numa alteração do ângulo de disparo do triac (α).

Os valores das tensões de entrada e saída podem ser previamente ajustados via *software*, sendo que, para esta dissertação, definiu-se a tensão de entrada como sendo o intervalo entre 90 e 140[V_{RMS}] e a tensão de saída em 100[V_{RMS}]. O valor do limite inferior da tensão de entrada foi escolhido em 90[V_{RMS}] porque constatou-se no capítulo 3, que equipamentos de informática apresentam problemas quando a tensão é inferior a 85[V_{RMS}]. Já a tensão de saída foi ajustada para 100[V_{RMS}], pois também constatou-se no mesmo capítulo, que para este valor de tensão, não há problemas com o consumo de energia e execução de programas. Outro motivo para a escolha deste valor de tensão é dar maior margem para o ângulo de disparo α , pois na situação em que a tensão da rede estiver no valor nominal de 127[V_{RMS}], o disparo do triac deve ser no ângulo de 79,07° e havendo qualquer alteração na tensão da rede, o ângulo de disparo também terá que mudar de valor para manter a tensão de saída em 100[V_{RMS}], assim haverá uma boa margem entre 0 e 180° para realizar o disparo.

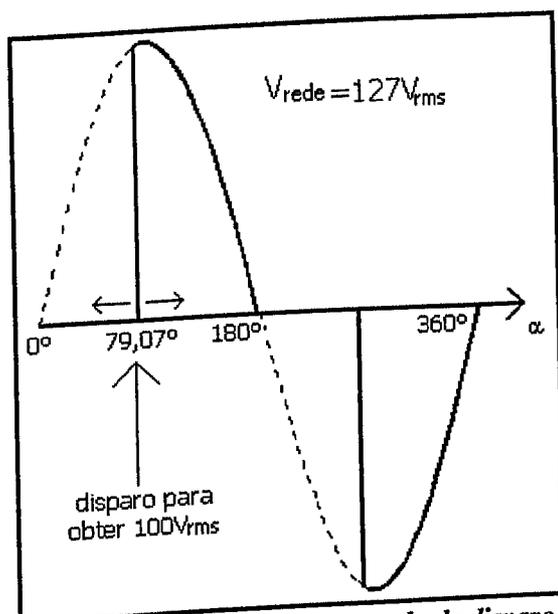


Figura 4.4 - Margem para o ângulo de disparo α

4.2.2) Proteção contra distúrbios de longa duração

Outra variável existente no processo é o tempo em que o valor da tensão de entrada pode permanecer abaixo de $90[V_{RMS}]$ ou acima de $140[V_{RMS}]$, chamado de tempo de tolerância. Quando estes valores de tensão forem violados por um tempo maior que o de tolerância, o ET desconecta a carga da rede elétrica, evitando danos ou mau funcionamento da carga conectada na saída.

Quando a tensão de entrada volta ao normal e assim permanece por um intervalo maior que o tempo de tolerância, a carga é religada novamente, sem a necessidade de ser acionada manualmente. Para este trabalho, o tempo de tolerância foi ajustado, via *software*, para $4[s]$, pois durante este intervalo, a tensão da rede pode voltar ao normal após alguma perturbação.

4.3) DESCRIÇÃO DO CIRCUITO DE CONTROLE E CARACTERÍSTICAS NOMINAIS DO ESTABILIZADOR PROPOSTO

Conforme o diagrama apresentado na Figura 4.1, o circuito de controle é composto por blocos que realizam funções específicas conforme a compilação da Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Descrições das funções de cada respectivo bloco

Bloco	Função
Condicionador de sinal:	Atenua a tensão de entrada em um nível compatível com a suportabilidade do conversor A/D.
Fonte de Alimentação:	Fonte em corrente contínua para alimentação dos circuitos integrados.
Conversor A/D:	Converte o sinal analógico em digital.
Detector de Zero:	Condiciona a tensão de saída em 60[Hz].
Unidade de Controle:	Procede ao processamento do sinal digital e constitui a primeira etapa da regulação de tensão em baixa potência. Atua no nível de saída do equipamento de forma a proteger a carga contra variação de tensão de entrada.
Driver:	Interface entre o circuito digital e o sinal de potência.
Triac:	A partir do bloco Unidade de Controle, o circuito de potência é ativado de forma a regular a tensão na carga.
Proteção contra Surto (dv/dt):	Varistores.

4.4) PROJETO DE ESTABILIZADOR ET

Após a descrição da função de cada bloco que compõe o novo equipamento, serão apresentados a seguir a composição e o dimensionamento para os mesmos.

4.4.1) Condicionador de sinal

Este bloco será implementado com um divisor de tensão resistivo com dois resistores em série, de tal maneira que se tenha na saída a tensão de $5[V_{pp}]$, que é compatível com o conversor A/D. O valor destes dois resistores que se adaptam para esta função são um de $200[k\Omega]$ e outro de $2,8[k\Omega]$.

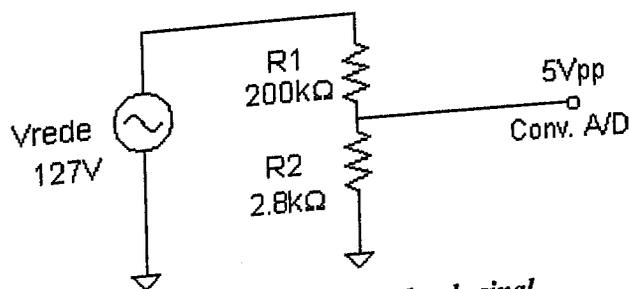


Figura 4.5 - Condicionador de sinal

4.4.2) Fonte de alimentação

Para a alimentação do microcontrolador e do DRIVER, é necessário projetar um retificador com quatro diodos e filtro capacitivo. Primeiramente é necessário determinar a tensão necessária na entrada do retificador (V_{ent}) para que se tenha na saída o valor desejado (V_0), que neste

caso é de $5[V_{cc}]$. Sabendo que a tensão média de saída do retificador (V_0) é dada pela expressão:

$$V_0 = \frac{2\sqrt{2}V_{ent}}{\pi} \quad (4.4)$$

Assim a tensão necessária na entrada do retificador (V_{ent}) é de $5,5[V_{RMS}]$.

A tensão da rede de $127[V_{RMS}]$, não pode ser conectada diretamente ao retificador, sendo necessário reduzi-la para $5,5[V_{RMS}]$ e para isto é necessário outro divisor de tensão resistivo, com um resistor de $200[k\Omega]$ e outro de $9[k\Omega]$.

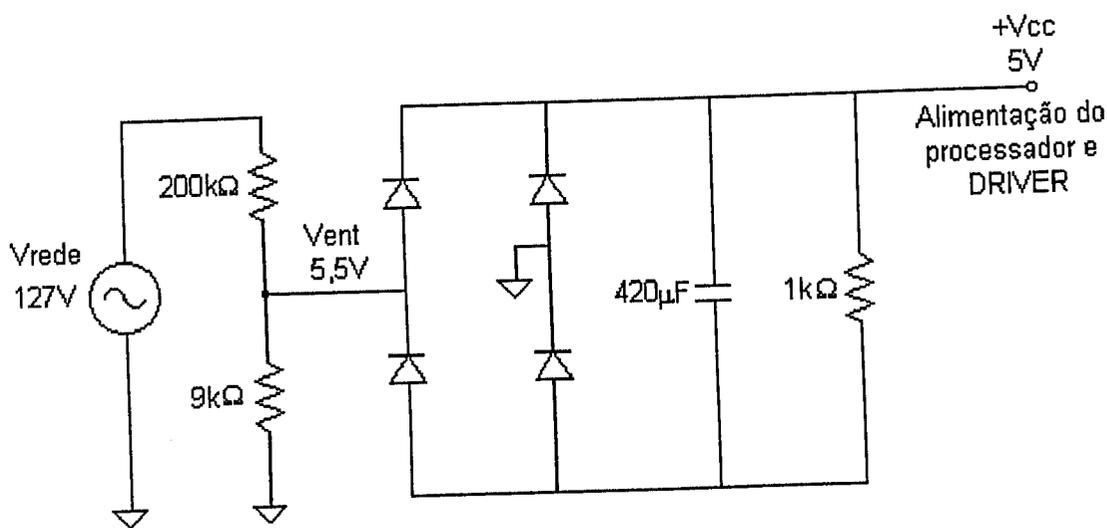


Figura 4.6 - Fonte de alimentação

Na saída do retificador será inserido um resistor de $1[k\Omega]$ para estabelecer $5[V_{cc}]$ na saída e um filtro capacitivo para “alisamento” da tensão. Para o dimensionamento deste capacitor, considera-se a tensão desejada na saída (V_0), a frequência de ondulação (f_0), que é duas vezes a frequência da rede ($120Hz$), o resistor de saída (R_1) de $1[k\Omega]$ e o ripple estipulado, ou seja, a ondulação de pico a pico da tensão de saída (V_r), que

para este caso será considerado 10%. O dimensionamento do capacitor é dado pela seguinte expressão:

$$C = \frac{V_0}{f_0 R_t V_r} \quad (4.5)$$

Assim o valor calculado para o capacitor é de 420[μ F].

4.4.3) Microcontrolador

Este é o componente principal do novo equipamento, sendo que para este projeto será utilizado o Intel 8051, visto que este tem fácil implementação para montagem e gravação do programa. Suas características nominais são apresentadas no anexo na Tabela 4.2:

Tabela 4.2 - Características nominais do Intel 8051

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidade</i>
Tensão de alimentação	5	[V _{cc}]
Corrente de saída – nível alto	20	[mA]
Corrente de entrada – nível baixo	10	[mA]
Temperatura máxima de operação	70	[°C]

No seu interior está inserido o conversor A/D, de 8bits com resolução de 3[kHz], detector de zero, que condiciona a tensão de saída em 60[Hz], e a unidade de controle, que efetua o cálculo do ângulo correto em que o triac será disparado.

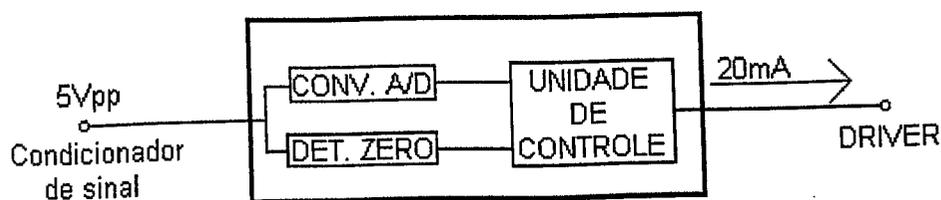


Figura 4.7 – Controlador Intel 8051

Para que este processador realize estas funções, é necessário que seja gravado um programa onde são fornecidos, os limites máximo e mínimo da tensão de entrada, o valor desejado na tensão de saída e o tempo em que a tensão de entrada pode ficar fora dos limites de operação. Este programa é escrito em linguagem C++ e depois convertido para linguagem de máquina, de maneira que fique compatível com as funções internas do controlador.

4.4.4) Driver

Este bloco transforma o pulso digital em analógico, pois a corrente de saída em nível alto do processador é de 20[mA] e este valor é insuficiente para fazer o disparo do triac, já que este necessita de 50[mA] para ser acionado. Para amplificar a corrente de saída do processador, será implementado um amplificador com o transistor 2N3251, com as seguintes características nominais:

Tabela 4.3 - Características nominais do 2N3251

Parâmetro	Valor	Unidade
Corrente nominal de Coletor	200	[mA]
Potência dissipada	0,36	[W]
Temperatura de operação	-40 a 100	[°C]

A configuração escolhida para este amplificador foi adaptada para que o transistor atue somente na região ativa, ou seja, evitando a operação na saturação e no corte.

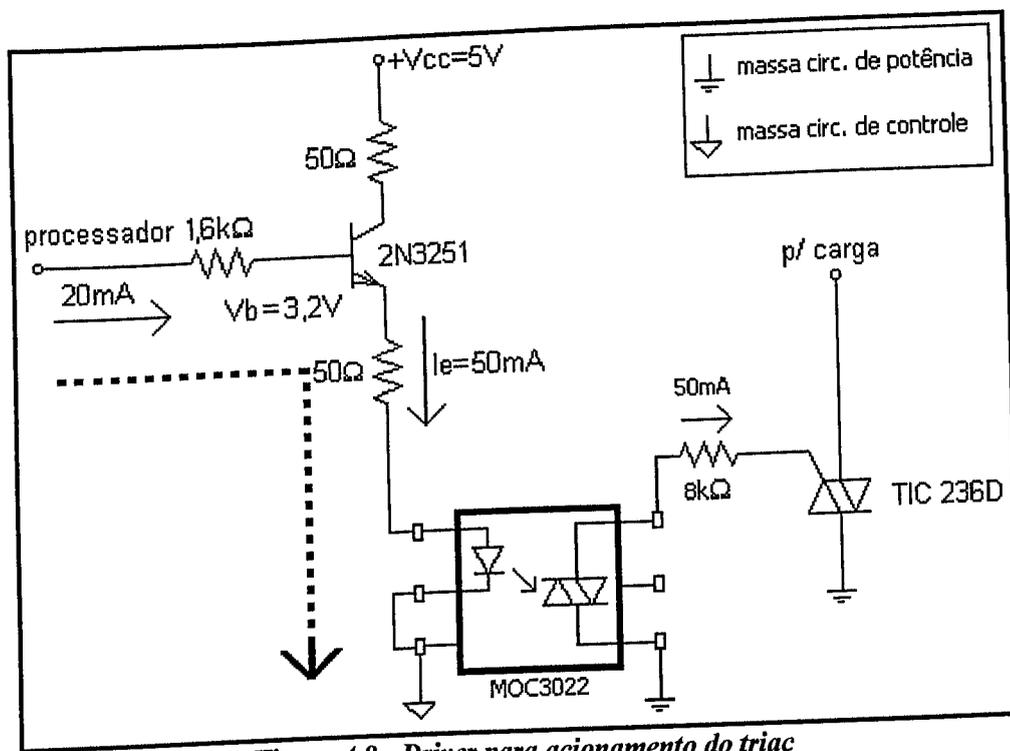


Figura 4.8 - Driver para acionamento do triac

No circuito anterior, será analisada a malha em destaque com a curva pontilhada, que envolve a saída do processador, entrando pela base do transistor e saindo pelo emissor. A tensão da junção PN entre a base e o emissor (V_{be}) é de $0,7[V_{cc}]$, já a tensão na base (V_b) é dada pelo produto da corrente de base, que é a saída do processador de $20[mA]$, e a resistência de $1,6[k\Omega]$. Então a equação a seguir fornece o valor do resistor a ser colocado no emissor (R_e) para obter a corrente (I_e) de $50[mA]$, que acionará o triac.

$$R_e = \frac{V_b - V_{be}}{I_e} \quad (4.6)$$

Colocando os respectivos valores na equação anterior, encontra-se o valor de resistência de emissor de $50[\Omega]$. Outro resistor de mesmo valor deve ser inserido no coletor para ter a corrente de $50[mA]$. De forma a proporcionar isolamento entre o circuito de controle e o porta do triac, será utilizado o

isolador óptico MOC 3022, produzido pela MOTOROLA com as seguintes características:

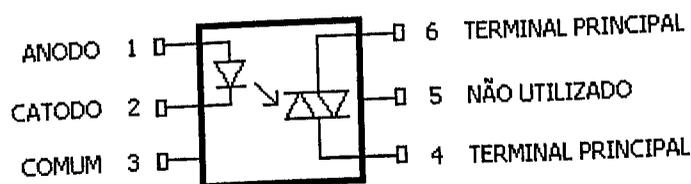


Figura 4.9 - Diagrama do MOC 3022

Tabela 4.4 - Características nominais do MOC 3022

Entrada (diodo)	Valor	Unidade
Tensão reversa	3	[V]
Corrente nominal	60	[mA _{CC}]
Potência dissipada*	100	[mW]
Saída (diac)		
Tensão de pico	400	[V]
Potência dissipada*	300	[mW]

Considerando 25°C

Entre o isolador e o triac, é inserido um resistor de 8[kΩ], para que a corrente de saída seja de 50[mA]. A aplicação deste componente é comum em fontes chaveadas, reatores eletrônicos e dimmers.

4.4.5) Triac

Será utilizado o TIC 236D, produzido pela Texas Instruments com as características nominais da Tabela 4.5. A escolha deste componente deve-se além de sua larga utilização, sua eficiência e fácil implementação.

Tabela 4.5 – Características nominais do TIC 236D

Parâmetro	Valor	Unidade
Tensão nominal	100 a 800	[V _{RMS}]
Corrente Nominal	12	[A _{RMS}]
Corrente de disparo	50	[mA]
Temperatura de operação	-40 a 110	[°C]

O sincronismo do disparo é feito com o detector de zero e a lógica de controle que é comandada pelo *software*.

4.4.6) Proteções do ET

Para proteção contra surtos de tensão (dv/dt), provenientes da rede elétrica, serão utilizados dois varistores do tipo SIOV S07K250, produzido pela SIEMENS, sendo um conectado em paralelo com a fonte CC e outro na entrada do condicionador de sinal. Este componente supre a falta de isolamento entre a entrada e a saída do estabilizador. Já a proteção contra sobrecorrente é feita através de um fusível de 15[A] inserido na entrada do equipamento.

4.5) CARACTERÍSTICAS DO ESTABILIZADOR ET

Uma vez apresentadas as funções dos blocos que constituem o ET, a tabela a seguir aponta como características nominais as tensões de entrada e saída, potência, precisão, consumo e tempo de resposta que mede a “demora” da atuação do sistema de controle.

Tabela 4.6 - Características nominais do estabilizador ET

Tensão de Entrada [V_{RMS}]	90 a 140 (podendo ser ajustado)
Tensão de Saída [V_{RMS}]	100
Potência [kVA]	1
Precisão [%]	1
Consumo sob carga[W]	1
Tempo de proteção contra subtensões e sobretensões momentâneas [s]	4 (podendo ser ajustado)
Tempo de resposta[ms]	3

Após o projeto do novo equipamento, a ACTIVA realizou nas suas próprias dependências a confecção da placa de circuito e a montagem final, que pode vista na Figura 4.10, onde pode-se comparar a diferença entre as dimensões dos estabilizadores CLONE e ET e de uma caneta.



Figura 4.10 - Comparação entre as dimensões dos estabilizadores ET, CLONE e uma caneta

O equipamento apresenta três led's para indicar se a tensão na entrada está normal ou se a mesma está acima ou abaixo da nominal. Vê-se, na mesma figura, que o protótipo ET está com cabos de conexão, embora o equipamento possa ser implementado de forma que seja conectado diretamente na tomada, sem o uso de cabos.

4.6) CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após constatar os problemas inerentes aos estabilizadores com transformador de ajuste, este capítulo apresentou um novo equipamento destinado a manter a tensão em níveis aceitáveis, denominado ET, que foi desenvolvido em parceria com a ACTIVA. O seu princípio de funcionamento já é bastante conhecido, pois a tensão de saída é regulada através do ângulo de disparo de um triac, conectado em série com a carga. O que diferencia este equipamento é a técnica de controle digital que foi implementada através do microcontrolador Intel 8051. Neste componente é gravado um *software*, que calcula constantemente o valor do ângulo de disparo, sendo que as variáveis de entrada para esta função são a tensão atual da rede e a desejada na saída do estabilizador.

Para proteger a carga contra distúrbios de longa duração, foi implementada uma nova filosofia de proteção, na qual o ET desliga a carga caso a tensão de entrada viole os limites previamente estabelecidos por um tempo maior que o de tolerância. Para a elaboração deste protótipo, a tensão de saída foi calibrada em $100[V_{RMS}]$, sendo que a tensão de entrada pode variar entre 90 e $140[V_{RMS}]$ e o tempo de tolerância ajustado para 4[s]. Estas variáveis são definidas via *software*. Na seqüência o ET será submetidos aos mesmos ensaios realizados no capítulo 3.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO ESTABILIZADOR

PROPOSTO - ET

5.1) CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Após o projeto, a ACTIVA realizou a montagem do estabilizador ET e forneceu o protótipo para que seja submetido aos mesmos ensaios do capítulo 3. Esta etapa também foi realizada no Laboratório de Cargas Elétricas Especiais da UFU, utilizando os mesmos materiais e métodos. As variáveis abordadas são as tensões de entrada e saída, a corrente de alimentação e a potência consumida. Os resultados serão discutidos a medida que forem sendo apresentados.

5.2) PERFIL DAS TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA

Para constatar o comportamento da tensão de saída em função das variações da tensão de entrada, foi montado arranjo da Figura 5.1. Novamente é utilizado um computador como carga e outro para coletar e analisar os dados fornecidos pelo SD-05.

Este ensaio será feito em duas etapas. Primeiramente a tensão de entrada será variada dentro do intervalo pré-definido, ou seja, de 90 a 140[V_{RMS}] e em seguida violando estes limites, observando as condições de desligamento da carga.

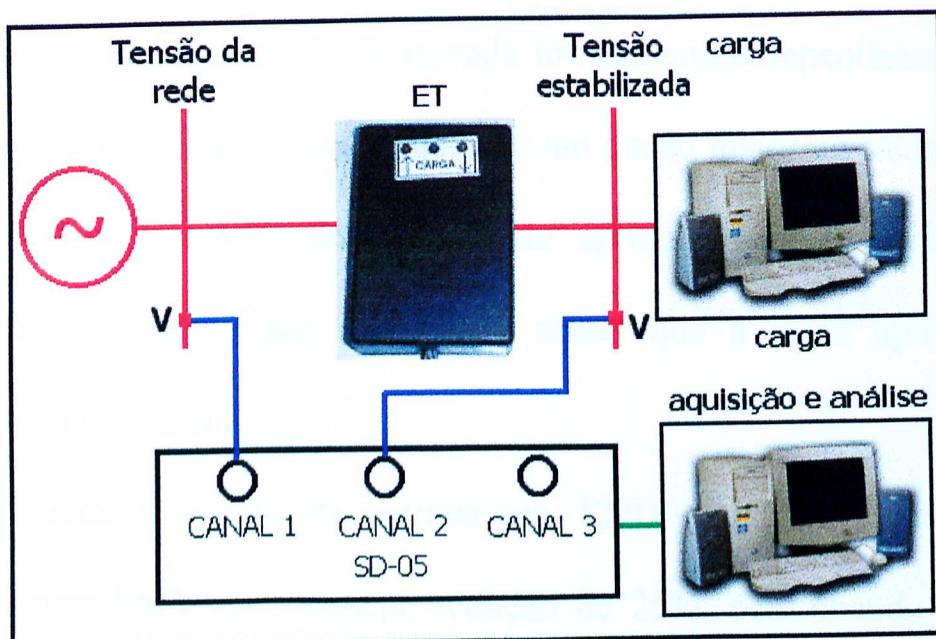


Figura 5.1 - Arranjo para levantamento do comportamento da tensão de saída em função das variações da entrada

Variando a tensão de entrada entre 90 e 140[V_{RMS}], o SD-05 fornece como resultado a Figura 5.2.

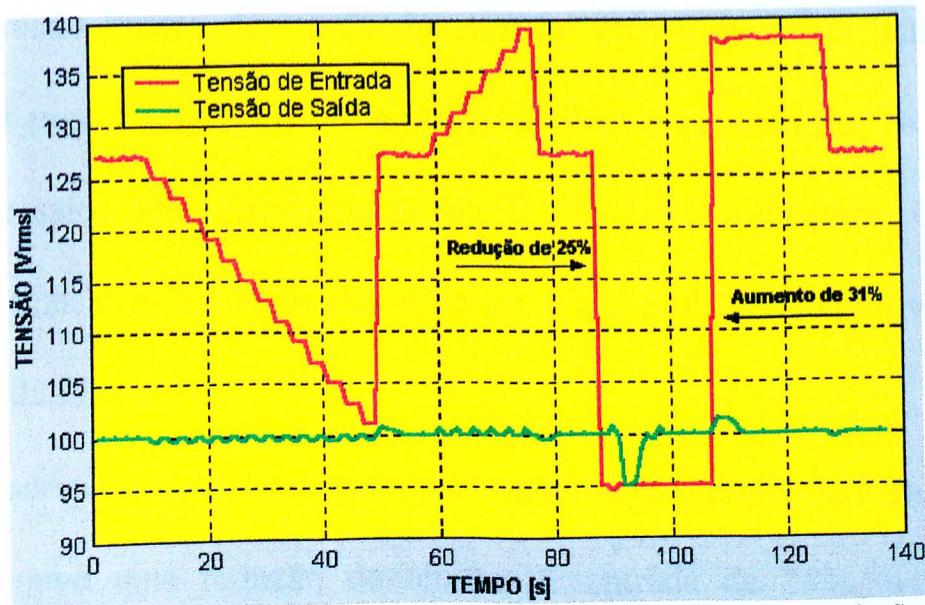


Figura 5.2 – Comportamento da tensão de saída do estabilizador proposto para variações da entrada no limite estabelecido 90 – 140[V_{RMS}]

A tensão de entrada foi ajustada para $127[V_{RMS}]$ e reduzida gradativamente em intervalos de 5% até que seu valor chegasse perto de $100[V_{RMS}]$. Nesta situação, a tensão de saída apresentou pequenas ondulações na ocorrência de reduções da tensão de entrada.

Em seguida, a tensão de entrada foi aumentada repentinamente para $127[V_{RMS}]$, ocasionando uma ondulação um pouco maior na saída. A partir daí elevou-se a tensão de entrada até aproximadamente $140[V_{RMS}]$ e reduzida novamente para $127[V_{RMS}]$, sendo que a saída apresentou o mesmo comportamento.

Estando a tensão de entrada em $127[V_{RMS}]$, houve uma brusca redução para $95[V_{RMS}]$, ou seja, redução de 25%, ocasionando na saída, uma diminuição de $5[V_{RMS}]$ do seu valor nominal, porém após um certo período, volta a $100[V_{RMS}]$ novamente.

Agora com o objetivo de observar o comportamento da saída para uma elevação brusca da tensão de entrada, provocou-se um aumento de $95[V_{RMS}]$ para $138[V_{RMS}]$, ou seja, 31%. Para esta situação, o valor da tensão de saída sobe aproximadamente $2,5[V_{RMS}]$ e volta para $100[V_{RMS}]$ de forma mais rápida que no caso anterior, o que pode ser comprovado com o gráfico da Figura 5.2.

Observa-se que há um paradoxo nestes dois últimos parágrafos, pois quando houve uma redução da tensão de entrada de 25%, a saída se comportou de forma mais lenta do que na situação em que ocorreu um

aumento de 31%. Nota-se que a saída respondeu melhor para uma variação mais brusca de tensão. Este comportamento é atribuído ao controle digital, visto que o mesmo realiza o cálculo do ângulo de disparo de forma iterativa. Assim conclui-se que na ocorrência da redução de 25% da tensão de entrada, o microcontrolador demorou mais para fazer o cálculo correto do ângulo de disparo em relação ao aumento de 31%.

O ET foi calibrado para desligar a carga quando a tensão de entrada estiver abaixo de $90[V_{RMS}]$ ou acima de $140[V_{RMS}]$, desde que seja ultrapassado o tempo de tolerância, que foi ajustado para 4[s]. Para observar este comportamento, a tensão de entrada foi variada de forma que ultrapasse os limites do intervalo de operação, ou seja, reduzindo-a abaixo de $90[V_{RMS}]$ e acima de $140[V_{RMS}]$ por um tempo maior que 4[s]. Como resultado o SD-05 fornece a Figura 5.3.

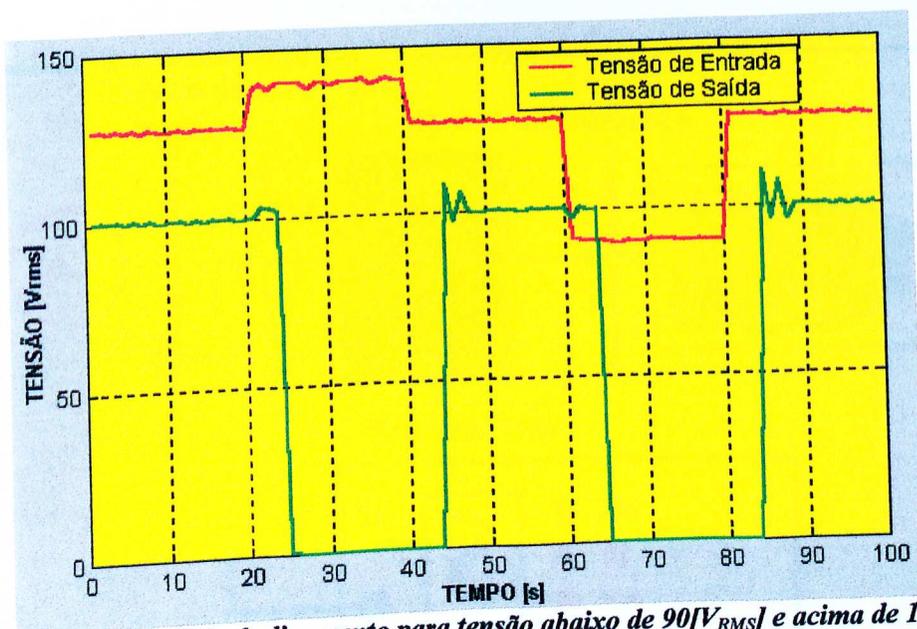


Figura 5.3 - Condições de desligamento para tensão abaixo de $90[V_{RMS}]$ e acima de $140[V_{RMS}]$

A tensão de entrada estava ajustada em $127[V_{RMS}]$ e em seguida foi elevada acima de $140[V_{RMS}]$. Passados 4[s], o estabilizador faz a

desconexão da carga, obtendo tensão nula na saída. Quando a tensão de entrada volta ao normal, também por um tempo maior que 4[s], a tensão na carga é restabelecida. De forma similar, a saída é desligada quando a tensão de entrada cai abaixo de 90[V_{RMS}] por um tempo maior que o de tolerância, voltando ao normal quando a tensão de entrada volta ao intervalo de operação.

5.3) CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO ESTABILIZADOR ET

De forma similar ao Capítulo 3, foram obtidas as formas de onda de tensão, corrente e potência consumida para o estabilizador ET. Para a realização destas medições consideraram-se as mesmas condições de funcionamento, já descritas anteriormente, utilizando o arranjo da Figura 5.4.

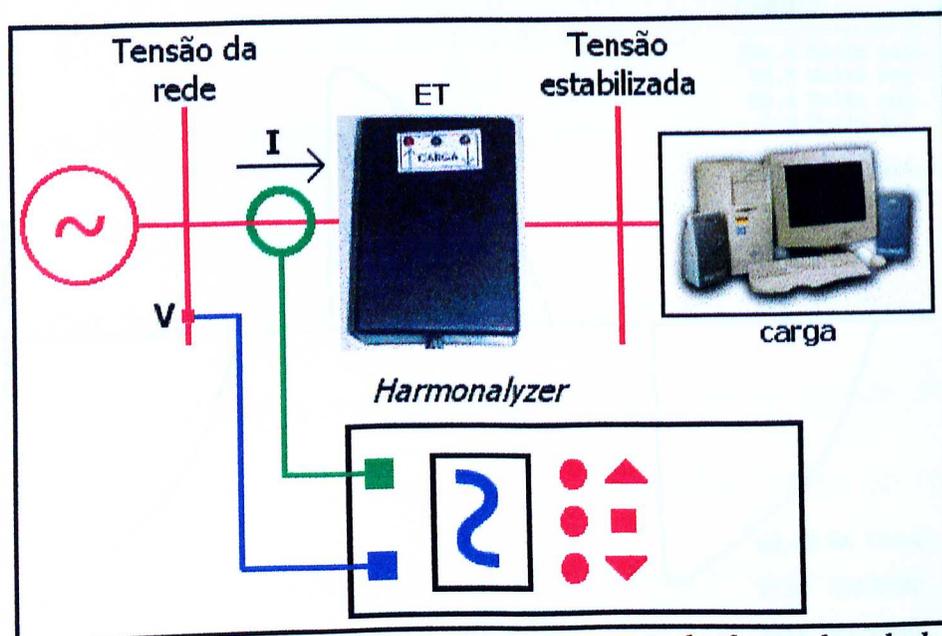


Figura 5.4 - Arranjo para medição de potência e levantamento das formas de onda de tensão e corrente

Primeiramente foram levantadas as formas de onda das tensões de entrada e saída.

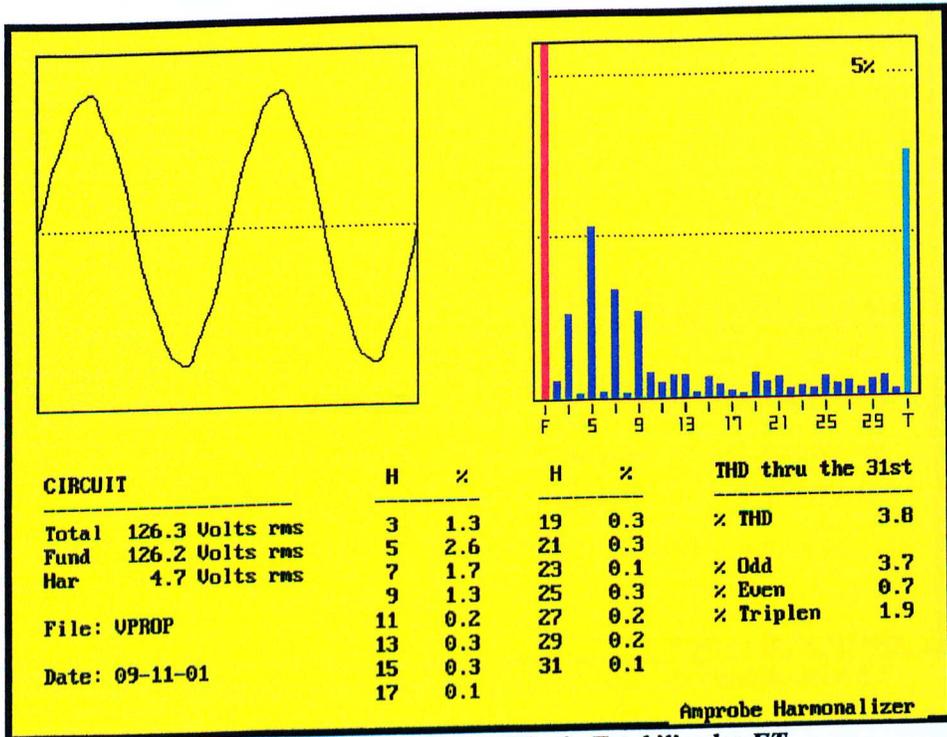


Figura 5.5 - Tensão de Entrada do Estabilizador ET

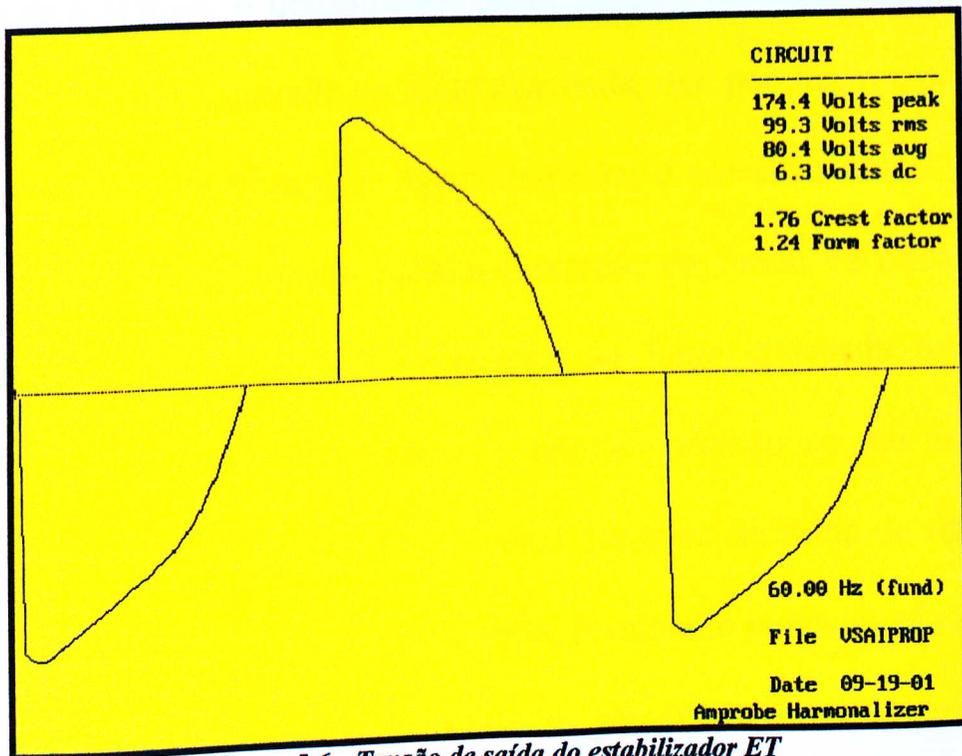


Figura 5.6 - Tensão de saída do estabilizador ET

O espectro harmônico desta tensão é dado na Figura 5.7.

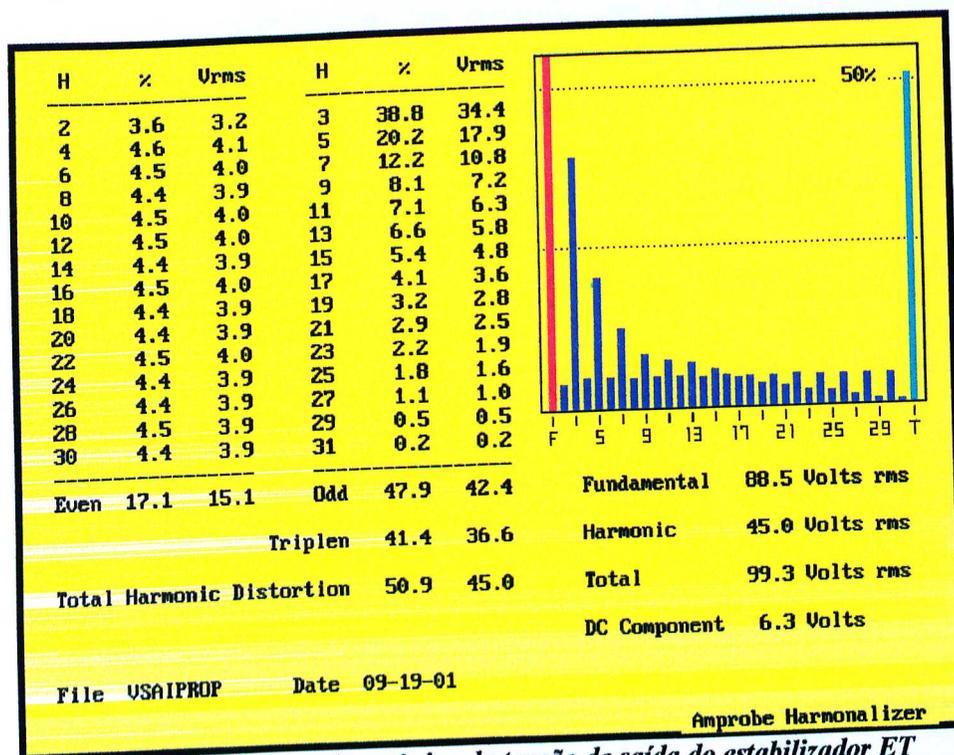


Figura 5.7 - Espectro harmônico da tensão de saída do estabilizador ET

A tensão de saída apresenta distorção harmônica total de 50,9%, apresentando tanto componentes pares e ímpares, além da componente contínua de 6,3[V_{CC}]. A deformidade desta tensão é atribuída à interação do circuito do ET com a entrada da fonte chaveada, que por sua vez possui um elevado capacitor de filtragem. Aparentemente, o comportamento da saída do ET, é inviável em função da alta distorção da forma de onda, porém cabe ressaltar que o próprio retificador da fonte chaveada transforma qualquer sinal alternado em contínuo, não importando se seu aspecto é senoidal, retangular, triangular etc. O sinal contínuo da saída do retificador é ainda condicionado pela fonte chaveada, resultando numa tensão contínua bem retilínea, que por sua vez alimenta as placas internas do computador.

Na referência [11], encontra-se um ensaio em que um computador foi submetido à tensões com distorções harmônicas e o mesmo não apresentou problemas na tensão de saída da fonte chaveada. O mesmo aconteceu nos experimentos desta dissertação, pois o computador funcionou continuamente conectado com o ET, não apresentando problemas na execução de programas. Na seqüência será analisada a forma de onda da corrente de alimentação.

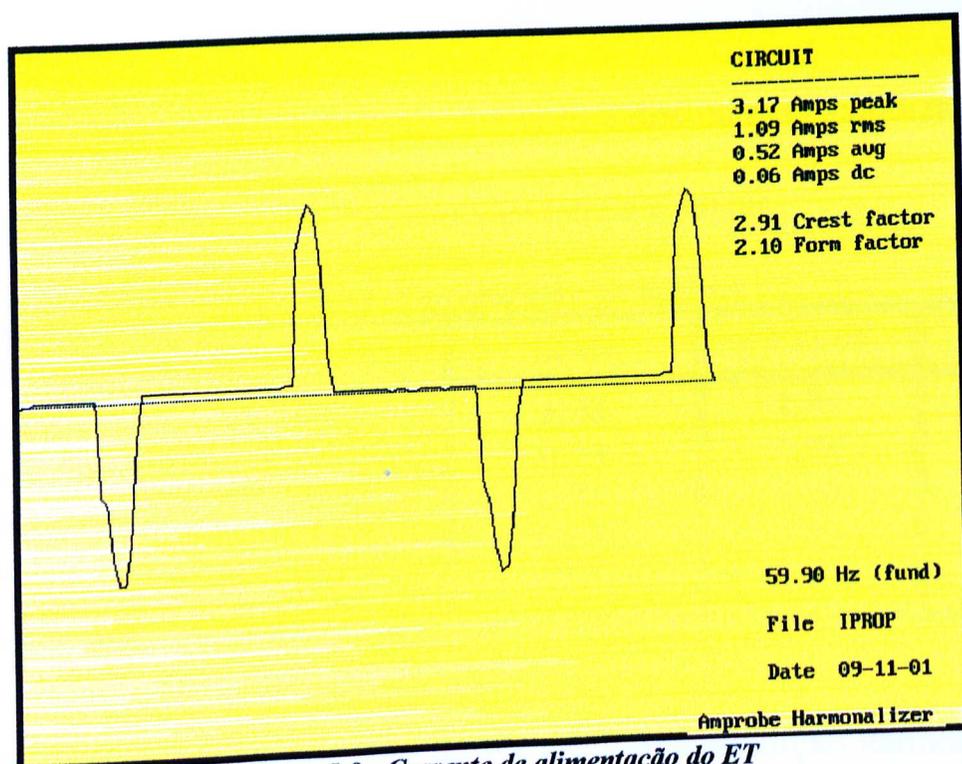


Figura 5.8 - Corrente de alimentação do ET

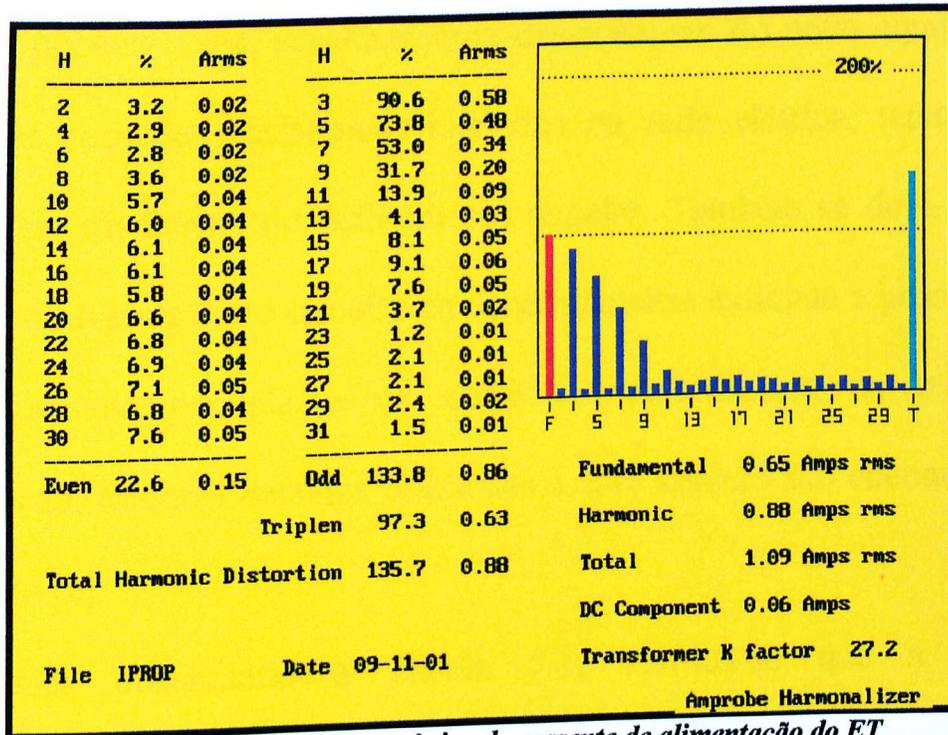


Figura 5.9 - Espectro harmônico da corrente de alimentação do ET

Para comparar a corrente do ET com a dos outros estabilizadores, os valores das medições foram dispostos na tabela a seguir.

Tabela 5.1 - Correntes dos estabilizadores

		SMS	CLONE	ET
Corrente total	[A _{RMS}]	1,03	1,09	1,09
Corrente fundamental	[A _{RMS}]	0,73	0,76	0,65
Corrente harmônica	[A _{RMS}]	0,73	0,77	0,88
Componente continua	[A _{CC}]	0,02	0,04	0,06
DHT	[%]	100,2	101,5	135,7

Observa-se que a corrente do ET apresenta distorção harmônica total de 135,7%, enquanto que o SMS e o CLONE apresentam 100,2% e 101,5%, respectivamente. A maior deformidade da corrente do ET é atribuída à sua tensão de saída, já que seu aspecto não é mais senoidal, conforme visto na Figura 5.6.

A primeira vista, isto seria uma desvantagem do novo equipamento, porém as correntes harmônicas injetadas na rede elétrica, tendem a se cancelarem em função do defasamento angular. Também se deve ressaltar que o alto nível de curto circuito da concessionária extingue a possibilidade de ressonância paralela e de ocasionar deformidade na tensão de alimentação. Maiores detalhes referentes a este assunto são encontrados na referência [2].

Ainda observando a Tabela 5.1, verifica-se que a corrente fundamental do estabilizador ET é a menor, o que leva a induzir que este equipamento apresenta menores perdas e para comprovar isto, os valores das medições das potências foram dispostos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Aumento da potência consumida para o estabilizador ET

Grandezas		Computador sem Estabilizador	Computador com Estabilizador ET	Variação (%) em relação ao computador sem Estabilizador
P	[W]	80,00	81,5	1,87
Q	[VAr]	3,90	3,2	-17,9
S	[VA]	80,09	81,56	1,83
Fator de Potência		1,00	1,00	0

Desta tabela, pode-se observar que o ET apresenta perdas de 1,87%, enquanto que o SMS tem 9,38% e o CLONE 11,38%. Como o ET não possui um autotransformador, as perdas somente são atribuídas aos componentes da placa de circuito impresso, sendo assim uma das principais vantagens do novo equipamento. Ainda considerando a Tabela 5.2,

verifica-se que o valor da potência reativa consumida é menor em relação ao computador funcionando sem estabilizador, o que pode ser atribuído à existência do capacitor de $420[\mu\text{F}]$ no interior do equipamento.

5.4) COMPARAÇÕES ENTRE OS ESTABILIZADORES COM AUTOTRANSFORMADOR DE AJUSTE E O PROPOSTO – ET

Com o objetivo de ressaltar as características do novo equipamento, os itens a seguir fazem uma comparação técnica e financeira entre os três estabilizadores analisados nesta dissertação.

➤ *Regulação de Tensão:*

Foi constatado de acordo com o ensaio da Figura 3.18, que a tensão de alimentação, ao atingir $85[V_{\text{RMS}}]$, começa haver problemas na tela do monitor, logo um estabilizador não pode deixar a tensão cair abaixo de $90[V_{\text{RMS}}]$. Para esta situação, os equipamentos com autotransformador de ajuste e o ET conseguiram cumprir esta tarefa.

➤ *Peso e Volume:*

Os tradicionais estabilizadores encontrados no comércio têm a desvantagem de possuírem maior dimensão física devido ao autotransformador. Tomando o produto do fabricante SMS como exemplo, este possui 195, 100 e 195[mm] de comprimento, largura e altura respectivamente e peso de 3000[g], enquanto que o ET tem as dimensões de 120, 80 e 35[mm] e o peso de 200[g].

SISBI/UFU
204631

➤ **Consumo de Energia:**

O ET tem a vantagem de oferecer menor consumo de energia a plena carga, pois como constatado no capítulo 3, aqueles com transformador de ajuste aumentam consumo de energia na ordem de 10% sob carga, enquanto que o aumento do ET não chega a 2%. Reduzir as perdas de 10 para 2% parece pouco para apenas um computador, mas se fossem substituídos todos os tradicionais estabilizadores existentes no país, haveria uma disponibilização de grande quantidade de energia, sendo uma medida fácil e barata contra a atual crise energética vivida no país.

➤ **Preço ao Consumidor:**

Enquanto que os tradicionais estabilizadores encontrados no comércio custam entre 40,00 e R\$50,00, o ET custará R\$25,00 para o consumidor final, sendo que 25% deste valor corresponde a comissão de venda. Este preço foi proposto pela ACTIVA, que financiou o custo deste projeto. Na tabela a seguir, encontra-se resumida uma comparação técnica e econômica entre os três estabilizadores analisados nesta dissertação.

Tabela 5.3 - Comparação das características dos três estabilizadores analisados

	<i>SMS</i>	<i>CLONE</i>	<i>ET</i>
Consumo de energia (sob carga) [%]	9,38	11,38	1,87
Peso [g]	3000	3000	200
Dimensão(CxLxH) [mm]	195x100x195	240x110x160	12x8x3,5
Preço ao consumidor [R\$]	45,00	50,00	25,00
Componentes harmônicas na saída	não	não	sim
Isolamento Galvânico	não	não	não

5.5) SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A sensibilidade de equipamentos eletrônicos como computadores, aparelhos de som, CLP's, etc, já foi analisada em diversos trabalhos, em especial nas referências [10] e [11]. Os referidos ensaios experimentais enfocaram a aplicação de diversos distúrbios nos equipamentos, como distorção harmônica, afundamentos, elevações e flutuação de tensão. Nestes ensaios analisou-se o comportamento dos equipamentos estando apenas energizados, sem estar em funcionamento, como foi o caso do computador e do CLP. O que não garante uma confiabilidade nos resultados obtidos, citando como exemplo a elaboração da curva de sensibilidade do computador, já discutida anteriormente.

Neste contexto, sugere-se como trabalhos futuros a análise do comportamento dos diversos equipamentos eletrônicos nas condições de realização de tarefas, ou seja, execução de programas no caso de computadores e comando de instruções no caso de CLP's. Com relação a estes últimos equipamentos, deve-se dar uma atenção especial, pois caso sofram uma avaria, haverá grandes prejuízos em uma instalação industrial.

5.6) CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, o ET foi submetido aos mesmos ensaios experimentais realizados no capítulo 3, envolvendo a regulação de tensão, as formas de onda de tensão e corrente e o consumo de energia.

A regulação de tensão mostrou-se eficiente, ou seja, a tensão de saída sofre pequenas ondulações quando há variações repentinas na tensão de entrada, mas depois é mantida em $100[V_{RMS}]$. As ondulações são atribuídas ao ajuste do ângulo de disparo, que por sua vez é calculado de forma iterativa, assim quanto menos iterações são necessárias, mais rápido a tensão de saída é restabelecida. Com o objetivo de proteger a carga, o desligamento programado atuou de forma esperada quando a tensão de entrada violou os limites pré estabelecidos, ou seja, com valor abaixo de $90[V_{RMS}]$ ou acima de $140[V_{RMS}]$ por mais que $4[s]$, que é o tempo de tolerância.

As deformidades das formas de onda apresentadas pela tensão e a corrente do ET, aparentemente indicam uma grande desvantagem deste equipamento, porém a fonte chaveada dos computadores apresenta bom condicionamento e não transfere problemas para a tensão de saída, que por sua vez permanece bem retilínea. Assim os computadores e demais periféricos não estarão sujeitos a mau funcionamento. Já as componentes harmônicas da corrente tendem a se cancelarem na rede elétrica, não

ocasionando prejuízos. Outra aparente desvantagem do ET é a falta de isolamento entre a entrada e a saída, porém o equipamento está protegido com varistores e fusível, garantindo a proteção contra surtos de tensão e curto circuito.

A grande vantagem deste equipamento é o baixo consumo de energia, que é menor que 2%, enquanto que os estabilizadores comuns consomem 10% em condições de carga, o que pode tornar este equipamento em uma alternativa para combater a atual crise energética vivida no país. O consumidor ainda tem a oportunidade de adquirir um produto de baixo custo e com reduzidas dimensões físicas.

Embora esta dissertação tratou dos equipamentos de informática, deve-se ressaltar que o novo estabilizador pode ser empregado em outros tipos de aparelhos que necessitem de uma atenção especial, principalmente os mais caros, tais como televisores do tipo 29”, refrigeradores, aparelhos de som, videocassetes, DVD’s, etc.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES FINAIS

Embora se reconheça que várias conclusões já tenham sido destacadas ao longo desta dissertação, salientando os aspectos envolvidos com as contribuições oferecidas, serão apresentadas agora as últimas conclusões.

O Capítulo I foi destinado à introdução geral, onde são enfocados os objetivos da dissertação, que são a viabilidade dos estabilizadores com transformador de ajuste e a necessidade de implementação de um novo estabilizador eletrônico de baixo custo.

No Capítulo II apresentou-se a introdução aos itens de qualidade de energia, enfatizando o fenômeno da queda de tensão momentânea, bem como suas origens, indicadores de suportabilidade, destacando as curvas CEBMA e ITIC. Finalizando o capítulo, mostraram-se alguns equipamentos destinados a manter a tensão em níveis adequados, tais como, fonte de tensão ininterrupta (UPS) e estabilizadores de tensão, optando-se por detalhamento destes últimos equipamentos.

No capítulo III, analisaram-se os estabilizadores comuns, fáceis de encontrar no mercado e que utilizam a comutação de tap's de um autotransformador. Esta análise envolveu ensaios de laboratório e um estudo previamente realizado pelo INMETRO, que concluiu que esta topologia de equipamento não é viável em função das condições de segurança e desempenho. Também verificou-se o funcionamento do computador sob níveis baixos de tensão, objetivando identificar a sua suportabilidade operacional, onde constatou-se que os problemas de funcionamento começam quando a tensão é inferior a $85[V_{RMS}]$.

O capítulo IV apresenta a maior contribuição desta dissertação, caracterizada pela construção de um novo estabilizador eletrônico, denominado ET. O equipamento tem no seu princípio de funcionamento o controle do ângulo de disparo de um triac, com o objetivo de manter a tensão estabilizada em $100[V_{RMS}]$. Para comandar o ângulo de disparo, foi implementado um *software* gravado em um microcontrolador, que além de determinar o ângulo de disparo, desliga a carga quando a tensão da rede atinge níveis maiores que $140[V_{RMS}]$ e menores que $90[V_{RMS}]$ por um período de 4[s]. Este estabilizador apresenta como vantagens perdas menores que 2% sob carga, redução de tamanho, peso e, sobretudo, custo para o usuário final de R\$25,00.

O capítulo V foi destinado a análise experimental do ET, os ensaios realizados são os mesmos já realizados no capítulo 3. Assim concluiu-se que o ET é uma boa alternativa para manter a tensão estabilizada para equipamentos de informática, pois quando a tensão da rede sofre variações acima ou abaixo da nominal, o ângulo de disparo assume automaticamente outro valor de tal maneira que a tensão de saída seja estabilizada em $100[V_{RMS}]$. Também foi constatado que a tensão de saída e a corrente de alimentação do ET apresentam maiores distorções harmônicas que os outros estabilizadores, porém a fonte chaveada do computador transforma qualquer sinal periódico em contínuo, não ocasionando problemas de funcionamento ao computador. Com relação a corrente, esta apresenta maiores distorções em função da tensão de saída do ET, que é uma senoide recortada, mas a maior deformidade desta corrente é de responsabilidade da própria fonte chaveada do computador, não sendo uma desvantagem do novo equipamento e como já dito anteriormente as cargas não lineares residenciais não são nocivas ao sistema elétrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M.F.; BEATY, H.W.; Electrical Power Systems Quality, Editora McGraw-Hill, EUA – 1995.
- [2] SOARES, E. L. Uma investigação dos consumidores residenciais sob o enfoque da qualidade da Energia Elétrica, Dissertação de Mestrado – UFU, Março – 1999.
- [3] KUROKAWA S., Desenvolvimento de um Estabilizador de Tensão Alternada de Variação Contínua Utilizando Mosfets. Dissertação de Mestrado – UFU
- [4] MAMEDE, J. Proteção de Equipamentos Eletrônicos Sensíveis, Editora Érica, São Paulo – 1997.
- [5] MAMEDE, J. Instalações elétricas Industriais, Editora LTC, 5º edição, Rio de Janeiro – 1997.
- [6] IEEE – Standards 446 – Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications, March- 1980.
- [7] Catálogo do Estabilizador SMS, Linha Revolution.
- [8] MARTIN, J. Fontes Chaveadas, Revista Eléctron, Editora Fittipaldi, São Paulo – 1996.
- [9] COSTA, P. F. & Santos, I. M. Qualidade de Energia e Consumidores. O que Pode Ser Feito no Âmbito da Indústria? III Seminário Brasileiro Sobre Qualidade da Energia Elétrica. Brasília –DF 1999.
- [10] LOURENÇO, A. C. Contribuições Experimentais na Área de Qualidade de Energia Elétrica. Dissertação de Mestrado – UNESP. Ilha Solteira – SP. Julho de 2001.
- [11] SANTOS, A. C. D. Desempenho de Fontes Lineares e Chaveadas no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica. Dissertação de Mestrado – UFU. Uberlândia – MG. Setembro de 2001.
- [12] Resumo de Ensaio Laboratoriais em Estabilizadores de Tensão INMETRO Agosto de 1996.