TESE
977

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DEPRESSÃO DE TENSÃO

PAULO LUCIANO DE CARVALHO

ITAJUBÁ - Dezembro de 1997

Escola Federal de Engenharia de Itajubá

EFEI



Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca
MAUÁ
BIM

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DEPRESSÃO DE TENSÃO

Paulo Luciano de Carvalho

Orientador: Prof. Dr. José Policarpo G. Abreu
Co-orientadores: Prof. Dr. Carlos Alberto M. Guimarães
Msc. José Maria de Carvalho Filho

Itajubá, dezembro de 1997

Aos meus pais, que sempre me incentivaram

e apoiaram em todos os passos

de minha vida

Agradecimentos

À Deus, em primeiro lugar, pois sem Ele nada seria possível.

Ao professor Dr. José Policarpo G. de Abreu, meu mais profundo agradecimento pela confiança depositada, pela orientação segura, pelo incentivo e também por ser um ombro amigo nos momentos mais difíceis.

Aos professores Carlos Alberto Mohallem Guimarães e Antônio Eduardo Hermeto pelos conhecimentos transmitidos, pela amizade e receptividade durante a minha passagem por Itajubá.

Aos amigos do grupo de estudo da Qualidade da Energia Elétrica da EFEI (GQEE/EFEI), em especial, ao amigo José Maria de Carvalho Filho, pela amizade, ajuda incentivo, transmitindo conhecimentos ao longo desta pesquisa, apoiando sempre e proporcionado o desenvolvimento desta dissertação de mestrado. Aos bolsistas de iniciação científica, Adriano Jung e Roger Daniel F. Ferreira, pela ajuda prestada durante o desenvolvimento do trabalho.

Um agradecimento especial à amiga e companheira Alessandra, pela seu carinho, pela sua amizade e apoio incondicional em todas as horas deste trabalho.

Aos amigos de república, Marcos, Gustavo, Samuel, Fernando e Daniel, pelo companheirismo e amizade durante esta jornada.

Aos Funcionários da PPG e da BIM pelos esclarecimentos durante a realização deste trabalho.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Atualmente, a Depressão de Tensão (*Voltage Sag*) é um dos principais itens de avaliação da Qualidade da Energia Elétrica. Dentro deste contexto, surge esta Dissertação, que possui como principal objetivo apresentar uma visão geral sobre este distúrbio da QEE.

Este trabalho está baseado, inicialmente, no levantamento das causas, características e fatores que influenciam a depressão de tensão. Posteriormente, são apresentadas as curvas de sensibilidade dos principais equipamentos eletro-eletrônicos e, é apresentada uma metodologia para determinação do impacto da depressão de tensão sobre estes equipamentos.

Por fim, são apresentadas as principais medidas preventivas e corretivas que podem ser adotadas tanto no âmbito do sistema da concessionária como no âmbito do sistema do consumidor.

ABSTRACT

Nowadays, Voltage Sags is one of the main itens for the evaluation of the Power Quality. Inside this context, this dissertation proposes to present an overview about these disturbances of Power Quality. At first, this overview is based on surveying and introducing the causes and characteristics the Voltage Sag.

Later, the curves of sensitivity of the main eletro-eletronic equipment and a methodology used to determine the impact of Voltage Sags on these equipment are presented.

At last, the main preventive and corrective measurements adopted in the utility and customers are also presented.

SIMBOLOGIA

CA	Componente alternada da tensão ou da corrente
ASD	Acionamento de Velocidade Variável
Back-up	Fonte alternativa de energia elétrica
CVT's	Transformadores de tensão constante ou ferroressonantes
CBEMA	*Computer Business Equipament Manufacturers Association*
CC	Componente contínua da tensão ou da corrente
Δ	Conexão delta
Δ/Δ	Transformador delta-delta
Δ/Y	Transformador delta-estrela
I	Corrente elétrica
jXs	Reatância da fonte
jXt	Reatância do transformador
L	Comprimento do arco elétrico
LT's	Linhas de transmissão
CLP's	Controladores Lógicos Programáveis
QEE	Qualidade da Energia Elétrica
SMES	Supercondutores magnéticos armazenadores de energia
VN	Tensão Nominal
UPS's	Sistemas de alimentação ininterruptos
V_a	Tensão na fase "a" no secundário do transformador
V_{A1}	Tensão de seqüência positiva no primário do transformador
V_{a1}	Tensão de seqüência positiva no secundário do transformador

V_{A2}	Tensão de seqüência negativa no primário do transformador
V_{a2}	Tensão de seqüência negativa no secundário do transformador
V_{Ao}	Tensão de seqüência zero no primário do transformador
V_{a0}	Tensão de seqüência zero no secundário do transformador
V_{an}	Tensão fase-neutro no secundário do transformador
V_{ab}	Tensão fase-fase no secundário do transformador
V_b	Tensão na fase "b" no secundário do transformador
V_{bn}	Tensão fase-neutro no secundário do transformador
V_{bc}	Tensão fase-fase no secundário do transformador
V_c	Tensão na fase "c" no secundário do transformador
V_{cn}	Tensão fase-neutro no secundário do transformador
V_{ca}	Tensão fase-fase no secundário do transformador
VCR's	Videocassetes
V_{fonte}	Tensão da fonte de alimentação
V_e	Tensão de entrada
V_s	Tensão de saída
V_{sag}	Magnitude da depressão de tensão (*Sags)*
V_{th}	Equivalente de Thévenin da fonte
Y	Conexão estrela
Y aterrado	Conexão estrela aterrada
Y/Y	Transformadores estrela-delta
Y/Δ	Transformadores estrela-estrela
Z	Impedância
Z_f	Impedância de falta

Zoeq	Impedância de seqüência zero equivalente
Zso	Impedância de seqüência zero
Zs1	Impedância de seqüência positiva
Zs2	Impedância de seqüência negativa

SUMÁRIO

	PAG.
AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
SIMBOLOGIA	iv
SUMÁRIO	vii
Capítulo I - Introdução	01
Capítulo II - Aspectos Gerais sobre a Qualidade da Energia Elétrica	04
2.1 - Considerações Iniciais	04
2.2 - Relevância do Assunto	05
2.3 - Definições e Conceitos Gerais	06
2.3.1 - Definição Geral de Qualidade	06
2.3.2 - Conceito de Qualidade de Energia Elétrica (QEE)	06
2.4 - Itens de Avaliação da QEE	06
2.4.1 - Transitórios	06
a) Transitório Impulsivo	07
b) Transitório Oscilatório	07
2.4.2 - Variações de Curta Duração	08
a) Interrupção	08
b) Depressão de Tensão	09
c) Salto de Tensão	09
2.4.3 - Variações de Longa Duração	10
a) Interrupções Sustentadas	10
b) Subtensões	10
c) Sobretensões	11
2.4.4 - Desequilíbrio de Tensão	11

2.4.5 - Distorção de Forma de Onda 12
a) Harmônicos 12
b) Corte (*Notch*) 13
c) Ruído 14
d) DC *offset* 14
2.4.6 - Flutuação de Tensão 15
2.4.7 - Variações de Freqüência 15
2.4.8 - Classificação Geral 16
2.5 - Considerações Finais 17

Capítulo III - Depressão de Tensão 18
3.1 - Considerações Iniciais 18
3.2 - Origens da Depressão de Tensão 19
3.2.1 - Partida de Motores 19
3.2.2 - Faltas no Sistema Elétrico 20
3.3 - Processo de Eliminação de Faltas 21
3.4 - Fatores que Influenciam a Depressão de Tensão 24
3.4.1 - Tipo de Falta 25
3.4.2 - Localização da Falta 26
3.4.3 - Impedância de Falta 27
3.4.4 - Influência da Conexão do Transformador 30
3.4.5 - Tensão Pré-Falta 32
3.4.6 - Desempenho do Sistema de Proteção 32
3.4.7 - Fatores Diversos 33
a) Densidade de Raios da Região (Nível Ceraunico) 33
b) Poluição 34
c) Interferências Públicas 34
3.5 - Área de Vulnerabilidade 34
3.6 - Considerações Finais 36

Capítulo IV - Sensibilidade dos Equipamentos Eletro-Eletrônicos 37
4.1 - Considerações Iniciais 37
4.2 - Curva *CBEMA* 38
4.3 - Sensibilidade dos Principais Equipamentos Eletro-eletrônicos 41
4.3.1 - Controladores Lógicos Programáveis (*CLP's*) 41
4.3.2 - Acionamentos de Velocidade Variável (*ASD's*) 42
4.3.3 - Contatores e Relés Auxiliares 42
4.3.4 - Microprocessadores 43
4.3.5 - Equipamentos Domésticos 44
4.4 - Metodologia para Determinação da Sensibilidade dos Equipamentos Eletro-Eletrônicos 45
4.4.1 - Objetivo 45
4.4.2 - Etapas 45
a) Preparação/Montagem 46
b) Execução 47
c) Análise 48
4.5 - Exemplo de Aplicação 52
4.6 - Considerações Finais 53

Capítulo V - Determinação do Impacto da Depressão de Tensão 54
5.1 - Considerações Iniciais 54
5.2 - Metodologia para a Determinação do Impacto da Depressão de Tensão 55
5.2.1 - Levantamento das Características da Depressão de Tensão 55
a) Medição 55
b) Simulação 56
c) Tratamento dos Dados Obtidos 57
5.2.2 - Impacto da Depressão de Tensão 58
5.2.3 - Exemplo de Aplicação 59
5.3 - Medidas Preventivas 67
5.3.1 - Prevenção de Faltas 67

5.3.2 - Melhorar a Sensibilidade dos Equipamentos 68
5.3.3 - Parques de Alta Qualidade 68
5.3.4 - Especificação dos Equipamentos 68
5.4 - Medidas Corretivas 69
5.4.1 - Alteração das Práticas de Proteção 70
5.4.2 - Modernização da Filosofia e do instrumental de Proteção 70
5.4.3 - Transferência de Barras 71
5.4.4 - Sistema de Alimentação Ininterruptos (*UPS's* - Estático) 71
5.4.5 - Grupo Moto-Gerador (*UPS's* - Rotativo) 72
5.4.6 - Supercondutores Magnéticos de Armazenamento de Energia 73
5.4.7 - Transformadores Ferroressonates 74
5.4.8 - Outros Dispositivos 76
5.5 - Visão Geral das Medidas Preventivas e Corretivas 76
5.6 - Considerações Finais 78

Capítulo VI - Conclusões 79

Anexo 1 - Demonstração da Influência das Conexão dos Transformadores no Cálculo da Depressão de Tensão 83

Anexo 2 - Método Estatístico 97

Anexo 3 - Gerador de Depressão de Tensão 102

Anexo 4 - Exemplo de Aplicação 111

Referências Bibliográficas 120

CAPÍTULO I

Introdução

Atualmente, os profissionais da área de engenharia elétrica tem direcionado seus esforços para amenizar os possíveis transtornos e prejuízos associados aos distúrbios da Qualidade da Energia Elétrica (QEE). O crescente interesse por este assunto deve-se ao uso, cada vez mais intensivo, de equipamentos eletro-eletrônicos dentro das indústrias e por consumidores de um modo geral. Esta disseminação é possível graças ao desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas, em especial à eletrônica de potência, que tem produzido uma nova geração de equipamentos, que possuem alta capacidade e baixo custo. Estes equipamentos, ao mesmo tempo que são responsáveis por grandes lucros na indústria devido a automatização, são os principais causadores de interrupções nos processos industriais, uma vez que, são sensíveis a pequenas variações da QEE.

O Brasil também vem sofrendo as conseqüências da ocorrência de distúrbios da QEE, visto que o seu parque industrial tem passado por modernização de suas instalações, através da automatização dos processos industriais. Para esta automatização é necessário a instalação de equipamentos eletro-eletrônicos modernos que, por sua vez, são sensíveis. Isto deve-se ao fato de que a economia mundial passa por um processo de mudanças, ou seja, "Globalização", e em conseqüência destas mudanças, novas regras são adotadas com o objetivo de atender aos novos conceitos.

Dentre os distúrbios da QEE, a depressão de tensão, tem se destacado

perante os profissionais da área de engenharia, pois a ocorrência deste distúrbio pode, na maioria das vezes, interromper parte ou, até mesmo, todo o processo industrial. A esta interrupção estão associados altos custos, uma vez que, ela causa perda de produção, perda de especificação de produtos, etc. Pesquisas realizadas relatam prejuízos anuais da ordem de bilhões de dólares devido à ocorrência da depressão de tensão; no Brasil o cenário é semelhante, e deve-se agravar, devido à crescente automatização das indústrias nacionais.

A verdade é que, atualmente, os problemas associados à ocorrência de distúrbios da QEE, em especial a depressão de tensão, tende a se agravar e, por conseqüência, os prejuízos associados devem ser bem mais elevados. Nesse sentido, pesquisas devem ser realizadas com o objetivo de se conhecer os distúrbios da QEE, em especial a depressão de tensão, e assim, tentar minimizar os prejuízos através da adoção de medidas preventivas e corretivas. É dentro deste contexto que esta dissertação está inserida, uma vez que a mesma possui, como principal objetivo, apresentar ao leitor um estudo geral sobre a depressão de tensão, distúrbio também conhecido por *Voltage Sag.* Portanto, para a consecução deste objetivo, esta dissertação está assim estruturada:

- **Capítulo II** - Este capítulo apresenta, de forma introdutória e didática, os conceitos e definições sobre a Qualidade da Energia Elétrica. Inicialmente é enfocada a relevância do assunto dentro da QEE, apresentando as definições e conceitos gerais relacionados ao tema. A partir daí é apresentada a classificação dos principais itens de avaliação, situando o leitor ao tipo de distúrbio que será abordado no decorrer desta dissertação.

- **Capítulo III** - Este capítulo sintetiza e organiza, de forma didática, as principais causas e fatores que influenciam no cálculo da depressão de tensão. Inicialmente são apresentadas as origens deste distúrbio, destacando-se os curtos-circuitos; posteriormente, enumeram-se os principais fatores que influenciam nas suas características, finalizando é introduzido o conceito de área de vulnerabilidade.
- **Capítulo IV** - Este capítulo, inicialmente, apresenta a Curva *CBEMA*, destacando-se a sua origem bem como as suas divisões características associadas aos principais distúrbios da QEE; a seguir, é realizado o levantamento da

sensibilidade dos principais equipamentos frente à depressão de tensão obtida através de pesquisa bibliográfica; finalmente, é apresentada e aplicada uma metodologia estatística para a determinação da sensibilidade dos equipamentos a este distúrbio da QEE.

- **Capítulo V -** Este capítulo da dissertação mostra, inicialmente, uma metodologia para determinação do impacto da depressão de tensão, sobre os equipamentos eletro-eletrônicos. Esta metodologia consiste na confrontação entre a sensibilidade dos equipamentos e as características da depressão de tensão; em seguida, são apresentadas as principais medidas preventivas e corretivas que podem ser adotadas, tanto no âmbito da concessionárias como do consumidor, na tentativa de minimizar os prejuízos causados por este distúrbio.

- **Capítulo VI -** Contém as principais conclusões desta dissertação e propostas para desenvolvimentos futuros.

CAPÍTULO II

Aspectos Gerais sobre a Qualidade da Energia Elétrica

2.1 - Considerações Iniciais

Dentre as principais áreas de investigação voltadas para o avanço da Engenharia Elétrica, uma das mais expressivas, nos dias atuais, é a que envolve as questões vinculadas à Qualidade da Energia Elétrica (QEE). Objetivando conhecer a natureza e a extensão destes problemas associados a esta questão, é necessário que os conceitos e definições da QEE estejam bem consolidados. Sendo assim, este capítulo visa apresentar uma abordagem geral sobre QEE, enfocando os seguintes tópicos:

- Relevância do assunto;
- Definições e conceitos gerais;
- Itens de avaliação da QEE.

2.2 - Relevância do Assunto

O crescente interesse pela QEE deve-se, principalmente, à evolução tecnológica dos equipamentos eletro-eletrônicos, hoje largamente utilizados nos diversos segmentos de atividade, seja ele industrial, comercial ou residencial. De fato, antigamente, os equipamentos não sofriam grande influência das variações na QEE. Atualmente, com o desenvolvimento tecnológico, percebeu-se que os modernos equipamentos começaram a apresentar falhas e a operar inadequadamente, o que, por conseqüência, tem produzido transtornos e prejuízos para os diversos segmentos de atividade. Operações normais na indústria e no comércio estão ficando cada vez mais dependentes do desempenho dos equipamentos eletro-eletrônicos e, por conseqüência, da QEE.

Historicamente, o Brasil foi um dos pioneiros a desenvolver trabalhos na área da QEE, juntamente com a França e a Inglaterra nas décadas de 70 e 80. Este impulso deveu-se a grandes projetos, como por exemplo, a "Ferrovia Carajás" e "Sistema de Transmissão de Itaipu", resultando na formação de grupos técnicos encarregados de solucionar os desafios que apareceram ao longo desses projetos. Esta área da engenharia elétrica, por ser uma área emergente, é carente de maiores estudos, pois se constitui no setor de maior concentração de problemas. Dentro deste contexto, pode-se destacar algumas das razões para o comprometimento da QEE [1], quais sejam:

- Equipamentos eletrônicos, de processamento de dados e de comunicação, são responsáveis por uma crescente categoria de cargas (residencial, comercial e industrial) que são sensíveis aos distúrbios provenientes da fonte de alimentação.
- A eletrônica de potência tem produzido uma nova geração de equipamentos de alta capacidade e baixo custo, o que tem disseminado sua aplicação. Em contrapartida, estes equipamentos são responsáveis pela geração de alguns distúrbios da QEE, para os quais os dispositivos eletrônicos citados são sensíveis.
- O crescente interesse pela racionalização e conservação da energia, tanto por parte das concessionárias como dos consumidores, tem resultado em adoção de medidas, que, se por um lado, proporcionam economia e maior eficiência energética, por outro, causam perdas na QEE.

2.3 - Definições e Conceitos Gerais

2.3.1- Definição Geral de Qualidade

"Qualidade é a combinação de características através das quais produtos e serviços em uso corresponderão às expectativas do cliente".

Vale a pena ressaltar que esta é uma das definições de qualidade e que pode ser aplicável para todo e qualquer produto e serviço [2].

2.3.2- Conceito de Qualidade da Energia Elétrica (QEE)

Do ponto de vista teórico, pode-se conceituar a QEE como sendo a disponibilidade de energia elétrica com tensões de suprimento equilibradas, senoidais, com amplitude e freqüência constantes [3].

Já do ponto de vista prático define-se que um serviço de fornecimento de energia elétrica é de boa qualidade quando o mesmo garante, a custos viáveis, o funcionamento adequado, seguro e confiável de equipamentos e processos, sem afetar o meio ambiente e o bem estar das pessoas [2].

2.4 - Itens de Avaliação da QEE

Os diversos distúrbios que ocorrem em um sistema elétrico e que afetam a QEE, podem ser agrupados de acordo com a sua duração, intensidade, tipo de ocorrência, entre outros. A seguir, será apresentado um resumo dos tipos de distúrbios normalmente presentes no sistema elétrico, apresentando as suas características, causas e efeitos [1], [2], [4], [5] e [6].

2.4.1 - Transitórios

Na engenharia elétrica, o termo - transitório - caracteriza aqueles eventos indesejáveis no sistema, que são de natureza momentânea. De forma geral, os transitórios podem ser classificados em duas categorias: impulsivo e oscilatório.

a) Transitório Impulsivo

O transitório impulsivo é súbito, não provoca alterações nas condições de estado permanente da tensão e corrente, sua polaridade é unidirecional, isto é, positiva ou negativa. Devido à alta freqüência, o transitório impulsivo é amortecido rapidamente em decorrência da resistência presente nos componentes do sistema e não se propagam para muito longe do ponto onde foram gerados. São considerados transitórios de origem atmosférica e são também chamados de impulsos atmosféricos [1].

Como principal efeito, este distúrbio pode causar a degradação ou falha imediata dos isolamentos de equipamentos e fontes eletrônicas [2].

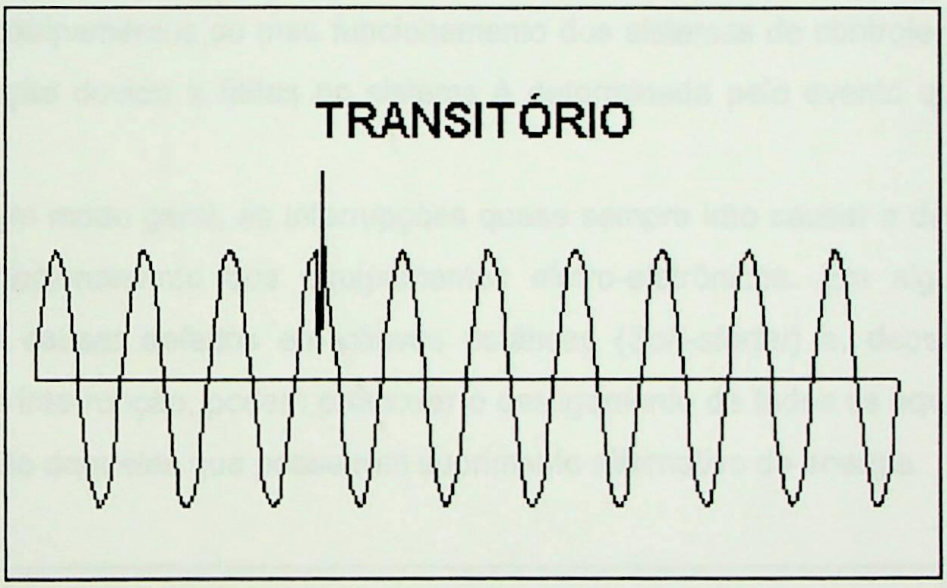


Figura 2.1 - Transitório Impulsivo

b) Transitório Oscilatório

O transitório oscilatório consiste de variações de tensão e corrente cujos valores instantâneos mudam de polaridade, rapidamente. Normalmente, é o resultado de modificações na configuração elétrica do sistema como, por exemplo, manobras em linhas de transmissão, chaveamento de bancos de capacitores, etc.

Como o transitório impulsivo, o transitório oscilatório pode causar a queima ou danos em equipamentos eletro-eletrônicos [2].

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca MAUÁ BIM

2.4.2 - Variações de Curta Duração

As variações de tensão de curta duração são, geralmente, originárias de faltas no sistema elétrico, energização de grandes blocos de carga, entre outros. Dependendo da localização da falta e das condições operacionais do sistema, a falta pode causar elevação de tensão (*swell*), depressão de tensão (*sag*) ou a interrupção [1].

a) Interrupção

A interrupção é caracterizada por ser um decremento da tensão de suprimento, a um valor menor que 0,1 [p.u.] por um período de tempo de 0,5 ciclos a 1 minuto [1]. As interrupções podem ser o resultado de faltas no sistema elétrico, falhas de equipamentos ou mau funcionamento dos sistemas de controle. A duração da interrupção devido a faltas no sistema é determinada pelo evento que gerou a falta.

De um modo geral, as interrupções quase sempre irão causar o desligamento ou mau funcionamento dos equipamentos eletro-eletrônicos. Em alguns casos, podem até causar defeitos em chaves estáticas (*Soft-starter*) e, dependendo da duração da interrupção, podem promover o desligamento de todos os equipamentos, com exceção daqueles que possuírem suprimento alternativo de energia.

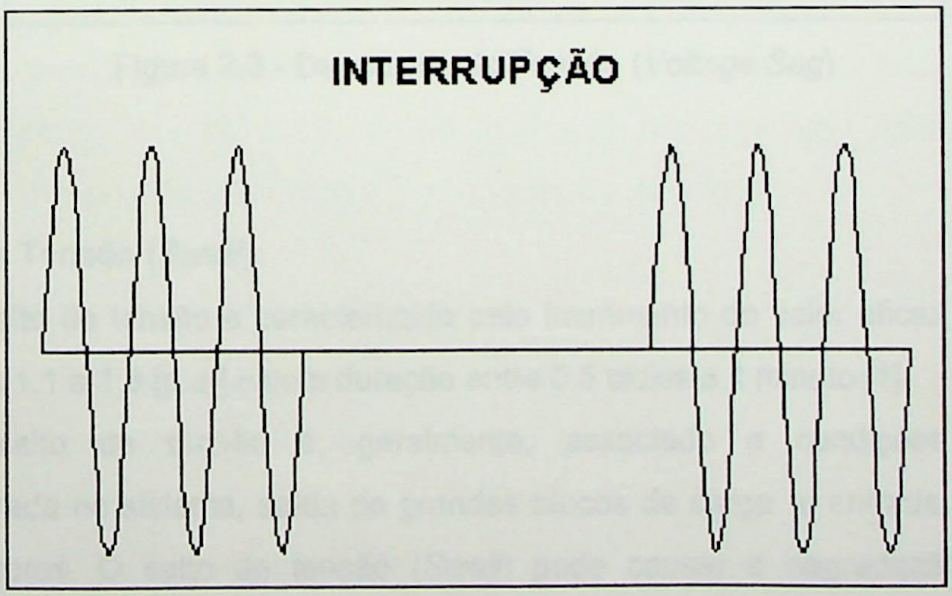


Figura 2.2 - Interrupção

b) Depressão de Tensão (*Sag*)

A depressão de tensão é uma redução momentânea do valor eficaz da tensão da ordem de 0,1 a 0,9 [p.u.], com duração entre 0,5 ciclo a 1 minuto [5]. Geralmente está associada a faltas no sistema, mas também pode ser gerada pela entrada de cargas ou partida de grandes motores.

A depressão de tensão pode provocar a parada de equipamentos eletro-eletrônicos e interrupções de processos produtivos.

Este distúrbio, por se tratar do principal tema desta dissertação, será investigado minuciosamente nos capítulos posteriores.

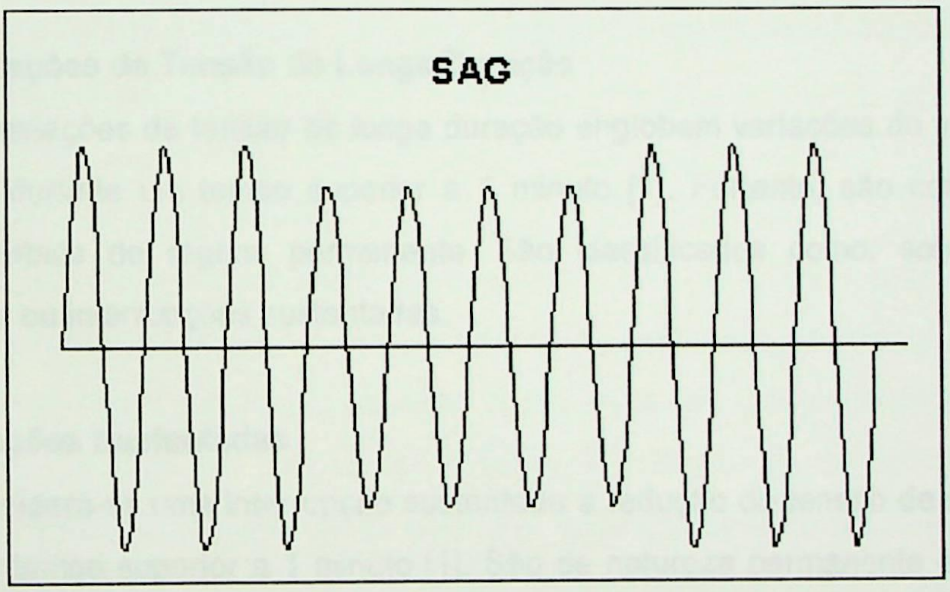


Figura 2.3 - Depressão de Tensão (*Voltage Sag*)

c) Salto de Tensão (*Swell*)

O salto de tensão é caracterizado pelo incremento do valor eficaz da tensão na faixa de 1,1 a 1,8 [p.u.] e com duração entre 0,5 ciclos a 1 minuto [1].

O salto de tensão é, geralmente, associado a condições de falta desequilibrada no sistema, saída de grandes blocos de carga e entrada de bancos de capacitores. O salto de tensão (*Swell*) pode causar a degradação ou falha imediata dos isolamentos de equipamentos e fontes eletrônicas, queima de varistores e de diodo zener.

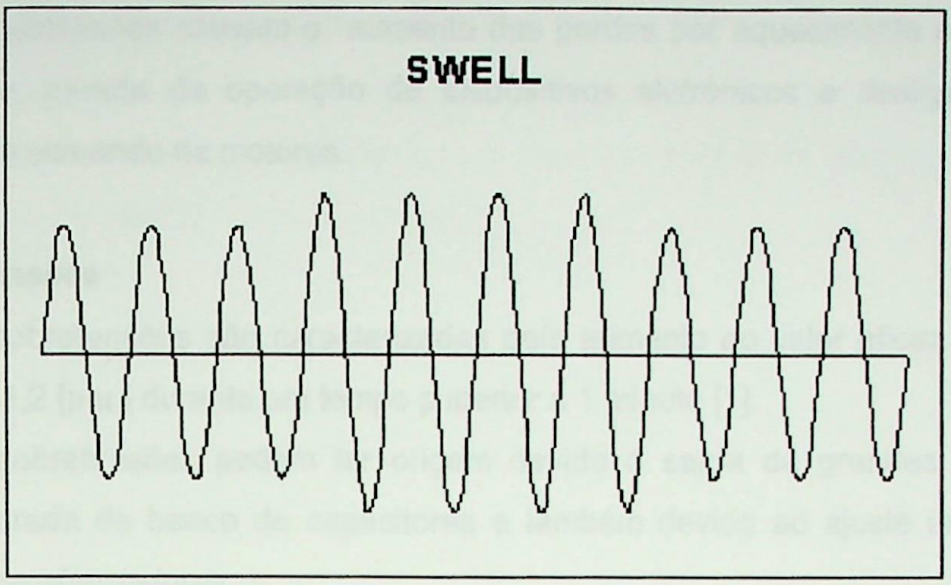


Figura 2.4 - Salto de Tensão (*Swell*)

2.4.3 - Variações de Tensão de Longa Duração

As variações de tensão de longa duração englobam variações do valor eficaz da tensão durante um tempo superior a 1 minuto [1]. Portanto, são consideradas como distúrbios de regime permanente. São classificados como: sobretensões, subtensões ou interrupções sustentadas.

a) Interrupções Sustentadas

Considera-se uma interrupção sustentada a redução de tensão de suprimento a zero por tempo superior a 1 minuto [1]. São de natureza permanente e requerem intervenção manual para restabelecimento da energia elétrica do sistema. O uso do termo - interrupção - no contexto da QEE não tem nenhuma relação com a confiabilidade ou outras estatísticas de continuidade de serviço.

b) Subtensões

Subtensões são definidas como uma redução no valor eficaz da tensão para 0,8 a 0,9 [p.u.] por um período superior a 1 minuto [1].

A entrada de carga ou a saída de banco de capacitores podem provocar subtensões até que os equipamentos de regulação de tensão do sistema atuem e retornem a tensão a seus limites normais. Subtensões também podem ser causadas por sobrecargas em alimentadores.

As subtensões causam o aumento das perdas por aquecimento em motores de indução, parada de operação de dispositivos eletrônicos e desligamento de sistemas de comando de motores.

c) Sobretensões

As sobretensões são caracterizadas pelo aumento do valor eficaz da tensão para 1,1 a 1,2 [p.u.] durante um tempo superior a 1 minuto [1].

As sobretensões podem ter origem devido à saída de grandes blocos de carga, entrada de banco de capacitores e também devido ao ajuste incorreto de "taps" de transformadores.

As sobretensões ocorridas sobre bancos de capacitores, causam o aumento da potência e, como consequência, poderá ocorrer o estufamento do invólucro das unidades capacitivas.

2.4.4 - Desequilíbrio de Tensão

O desequilíbrio de tensão é definido como a razão entre a componente de seqüência negativa, ou zero, pela componente de seqüência positiva. A tensão de seqüência negativa, ou zero, em sistemas de potência, geralmente, é o resultado de desequilíbrio de carga, o qual causa o fluxo de corrente de seqüência zero ou negativa. O desequilíbrio de tensão pode ser estimado como o máximo desvio da média das tensões das três fases, dividido pela média das tensões, expresso em porcentagem [1].

A principal fonte de desequilíbrio de tensão é a conexão de cargas monofásicas em circuitos trifásicos; anomalias em banco de capacitores, tais como queima de fusíveis em uma das fases em banco trifásicos, também pode causar este distúrbio.

2.4.5 - Distorção de Forma de Onda

A distorção de forma de onda é o desvio, em regime permanente, da forma de onda da corrente ou tensão em relação ao sinal senoidal puro. São cinco os tipos principais de distorção de forma de onda [1]:

- Harmônicos.
- Corte (*Notch*).
- Ruídos.
- Desvio no nível CC.

a) Harmônicos

Harmônicos são tensões ou correntes senoidais que têm freqüências múltiplas da freqüência fundamental (50 ou 60 Hz) [1], [2] e [6]. Os harmônicos se somam aos componentes fundamentais de tensão e corrente, causando distorção na forma de onda. A distorção harmônica ocorre devido a operação de cargas não lineares no sistema elétrico, tais como: fornos a arco, fornos de indução, conversores estáticos, máquinas de solda, lâmpadas fluorescentes, etc. O nível de distorção harmônica pode ser caracterizado pelo espectro de freqüência com suas magnitudes e ângulos para todas as componentes harmônicas. É comum utilizar-se para a quantificação deste distúrbio, a distorção total de tensão ou de corrente.

A injeção de corrente harmônica, por parte dos consumidores, pode causar distorção na forma de onda da tensão do sistema da concessionária. A corrente harmônica e a distorção da tensão provocam no sistema:

- Sobreaquecimento em máquinas rotativas e transformadores, com conseqüente redução da vida útil destes equipamentos;

- Sobretensões harmônicas, resultando no aumento das solicitações do isolamento dos dispositivos, o que, em muitos casos, causa a ruptura do dielétrico;

- Operação indevida dos sistemas de proteção, medição e controle de equipamentos elétricos;

- Operação incorreta de diversos equipamentos, tais como, microcomputadores, medidores de energia elétrica e controles microprocessados.

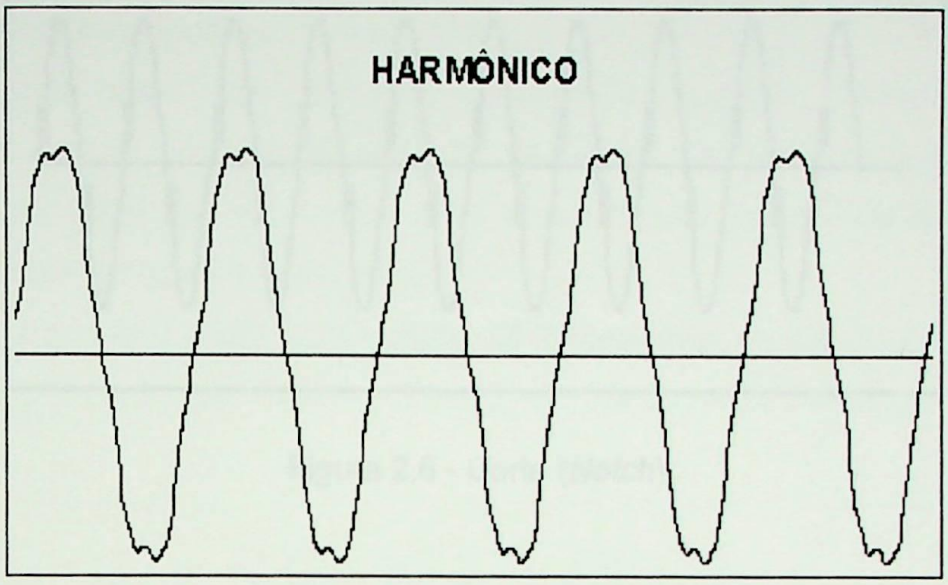


Figura 2.5 - Harmônicos

b) Corte (*NOTCH*)

Corte é um distúrbio periódico da tensão, causado pela operação normal dos equipamentos que utilizam a eletrônica de potência, quando a corrente é comutada de uma fase para a outra. Durante este período ocorre um curto-circuito momentâneo entre as duas fases. Este distúrbio representa um caso especial que se enquadra entre transitórios e distorção harmônica. Desde que o efeito do corte ocorra continuamente (estado permanente), ele pode ser caracterizado através do espectro harmônico. A principal fonte causadora de corte de tensão são os conversores trifásicos [1].

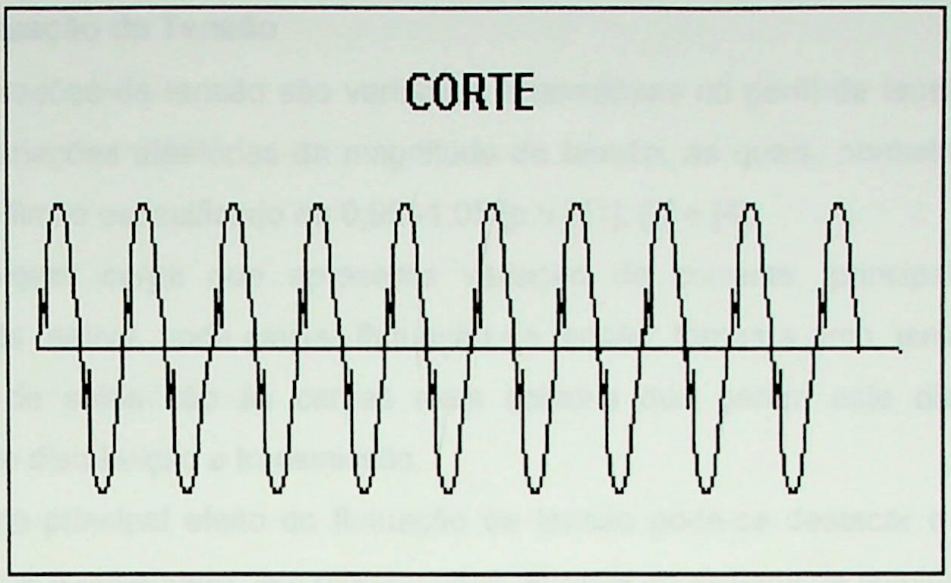


Figura 2.6 - Corte (*Notch*)

c) Ruído

O fenômeno conhecido como ruído é um sinal indesejável, com espectro de freqüência amplo, menor que 200 [kHz], de baixa intensidade, superposto à corrente ou tensão nos condutores de fase, ou encontrado nos condutores de neutro.

Normalmente, este tipo de interferência é resultado de operações defeituosas, de equipamentos, instalação inadequada de componentes no sistema da concessionária ou dos consumidores e aterramentos impróprios. Podem se propagar até atingir cargas susceptíveis em algum ponto do sistema, tais como: microcomputadores e controladores programáveis [1], [2], [4].

d) Desvio no nível CC

A presença de tensão CC ou corrente CC em sistemas CA é denominado de Desvio no nível CC. Este fenômeno pode ocorrer devido ao efeito da retificação de meia onda. O desvio no nível CC em redes de corrente alternada provoca a saturação de transformadores, *stress* adicional da isolação e outros efeitos diversos.

2.4.6 - Flutuação de Tensão

Flutuações de tensão são variações sistemáticas no perfil da tensão ou uma série de variações aleatórias da magnitude da tensão, as quais, normalmente, não excedem o limite especificado de 0,95 -1,05 [p.u.] [1], [2] e [4].

Qualquer carga que apresenta variação de corrente, principalmente da componente reativa, pode causar flutuação de tensão; fornos a arco, laminadores e máquinas de solda são as cargas mais comuns que geram este distúrbio em sistemas de distribuição e transmissão.

Como principal efeito da flutuação de tensão pode-se destacar o fenômeno "Flicker", que é observado pelo olho humano, através do sistema de iluminação.

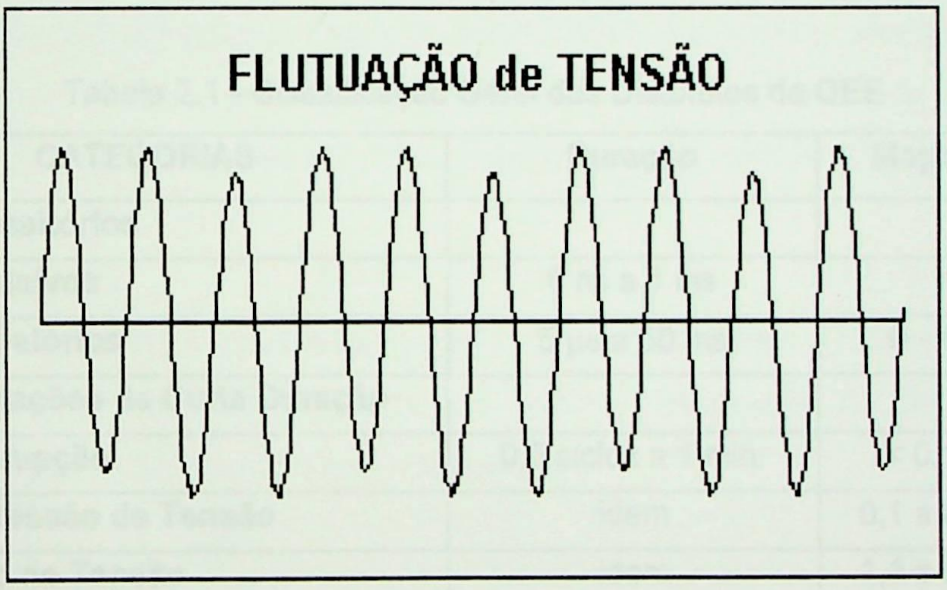


Figura 2.7 - Flutuação de Tensão

2.4.7- Variações de Freqüência

Em sistemas elétricos, a freqüência está diretamente relacionada com a rotação dos geradores do sistema. Em qualquer instante esta depende do balanço entre a carga e a geração disponível. Quando este equilíbrio é alterado pequenas variações de freqüência deverão ocorrer.

Variações de freqüência que ultrapassam os valores limites das condições normais de regime permanente, são, normalmente, causadas por faltas no sistema de transmissão, desconexão de grandes blocos de carga e saída de grandes parques de geração.

As variações de freqüência podem afetar a operação normal de máquinas rotativas, mas devido a interconexão dos sistemas elétricos modernos estes distúrbios são raros de ocorrer. Elas são mais prováveis de acontecer em sistemas de consumidores que possuam geração própria, quando passam a operar na configuração isolada [2].

2.4.8 - Classificação geral

Apresenta-se na tabela 2.1 as categorias, duração e magnitudes para os distúrbios na Qualidade da Energia Elétrica [1].

Tabela 2.1 - Classificação Geral dos Distúrbios da QEE

CATEGORIAS	Duração	Magnitude
2.4.1- Transitórios		
a) Impulsivos	5 ns a 1 ms	
b) Oscilatórios	5 μs a 50 ms	0 - 4 p.u.
2.4.2- Variações de Curta Duração		
a) Interrupção	0,5 ciclos a 1 min.	< 0,1 p.u.
b) Depressão de Tensão	idem	0,1 a 0,9 p.u.
c) Salto de Tensão	idem	1,1 a 1,8 p.u.
2.4.3- Variações de Longa Duração		
a) Interrupção Sustentada	>1 min.	0,0 p.u.
b) Subtensões	idem	0,8 a 0,9 p.u.
c) Sobretensões	idem	1,1 a 1,2 p.u.
2.4.4- Desequilíbrios	estado permanente	0,01 a 0,02 p.u.
2.4.5- Distorção de Forma de Onda		
a) Harmônicos	estado permanente	0 -0,2 p.u.
b) Corte (*Notch*)	idem	
c) Ruído	idem	0 - 0,01 p.u.
d) Desvio no nível CC	idem	0 - 0,001 p.u.
2.4.6- Flutuação de Tensão	intermitente	0,001 - 0,07 p.u.
2.4.7- Variações de Freqüência	< 10 s	

2.5 - Considerações Finais

Este capítulo teve como objetivo apresentar, de forma introdutória e didática, os conceitos e definições sobre a Qualidade da Energia Elétrica.

Inicialmente, foi descrita a relevância do assunto QEE dentro do cenário da engenharia elétrica, apresentando as definições e conceitos gerais relacionados com o tema.

Posteriormente, foram apresentadas os principais itens de avaliação da QEE, dando enfoque para as suas características, causas e efeitos. Dentre os itens apresentados, a depressão de tensão se caracteriza como sendo o principal distúrbio da QEE, isto por trazer prejuízos mundiais, da ordem de dezenas de bilhões de dólares, principalmente para as indústrias que utilizam sofisticados controles de processos.

Reconhecendo a relevância do assunto, nos capítulos subsequentes será realizado um amplo estudo acerca do tema - depressão de tensão - ou internacionalmente conhecido como “voltage sag”.

CAPÍTULO III

Depressão de Tensão

(*Voltage Sag*)

3.1 - Considerações Iniciais

Atualmente, processos industriais inteiros, são interrompidos devido à ocorrência da depressão de tensão. Este distúrbio da QEE traz como conseqüência, na maioria das vezes, perdas de produção, perdas de especificação de produtos, tempo de espera para reiniciação da operação do sistema e retomada plena da produção e, finalmente, reparos dos equipamentos danificados. Os custos, associados à ocorrência deste distúrbio, são altos, o que tem despertado grande atenção dos profissionais de engenharia, que atuam tanto na indústria como nas empresas de energia elétrica. Sendo assim, este capítulo visa apresentar o estudo acerca da depressão de tensão, destacando-se os seguintes tópicos :

- As origens da depressão de tensão;
- Processo de eliminação de faltas;
- Os fatores que influenciam as características da depressão de tensão;
- Conceito de área de vulnerabilidade.

3.2- Origens da Depressão de Tensão

As duas principais causas da depressão de tensão são as faltas (curto-circuitos) no sistema elétrico e a partida de grandes motores [7].

3.2.1 - Partida de Motores

A partida de grandes motores pode gerar depressão de tensão, visto que os motores necessitam de um conjugado inicial superior ao conjugado resistente da carga, para que haja a aceleração. Geralmente os motores necessitam de uma corrente de partida alta, da ordem de 5 a 8 vezes a corrente nominal, com fator de potência extremamente baixo, na faixa de 0,15 a 0,30 indutivo [8] e [9].

O fluxo da corrente de partida através da impedância do sistema poderá, dependendo do nível de curto-circuito da fonte, gerar depressão de tensão significativa. Como resultado, poderão ocorrer desligamentos de contatores e paradas de operação de equipamentos sensíveis.

No entanto, vale ressaltar que as indústrias, na sua grande maioria, fazem uso de processos de partida indireta de motores, com o objetivo de diminuir o impacto da depressão de tensão, tornando-as de magnitudes que geralmente não são severas o bastante para afetar a operação dos equipamentos eletro-eletrônicos [7]. Dentre os processos de partida utilizados destacam-se:

- partida com chave estrela-triângulo;
- partida com chaves compensadoras;
- partida utilizando reostato;
- partida com chaves estáticas (*Soft-starter*).

3.2.2 - Faltas no Sistema Elétrico

Pesquisas apontam como a principal origem da depressão de tensão as faltas no sistema elétrico, que podem ocorrer tanto dentro da indústria como no sistema de alimentação da concessionária.

Segundo algumas destas pesquisas [7], [10] e [11], as maiores causas de faltas no sistema são as descargas atmosféricas, pois representam aproximadamente 77% da origem das faltas. Através deste dado conclui-se: o número de ocorrência da depressão de tensão está diretamente relacionado com o nível cerâunico da região onde o sistema elétrico está inserido.

As faltas podem ser de natureza temporária ou permanente. As faltas temporárias são, na sua grande maioria, devido à ocorrência de descargas atmosféricas sobre o sistema elétrico, as quais não resultam em danos permanentes no sistema de isolação. O sistema pode ser restabelecido tão rápido quanto o tempo de eliminação de falta pelos equipamentos de proteção.

Já as faltas permanentes são causadas por danos físicos em algum elemento de isolação do sistema. É necessária a intervenção da equipe de manutenção da rede elétrica. O impacto sobre os consumidores é uma interrupção no fornecimento de energia elétrica, de alguns minutos a poucas horas.

A figura 3.1 ilustra as maiores causas de faltas no sistema de distribuição levantadas por uma concessionária norte-americana [12].

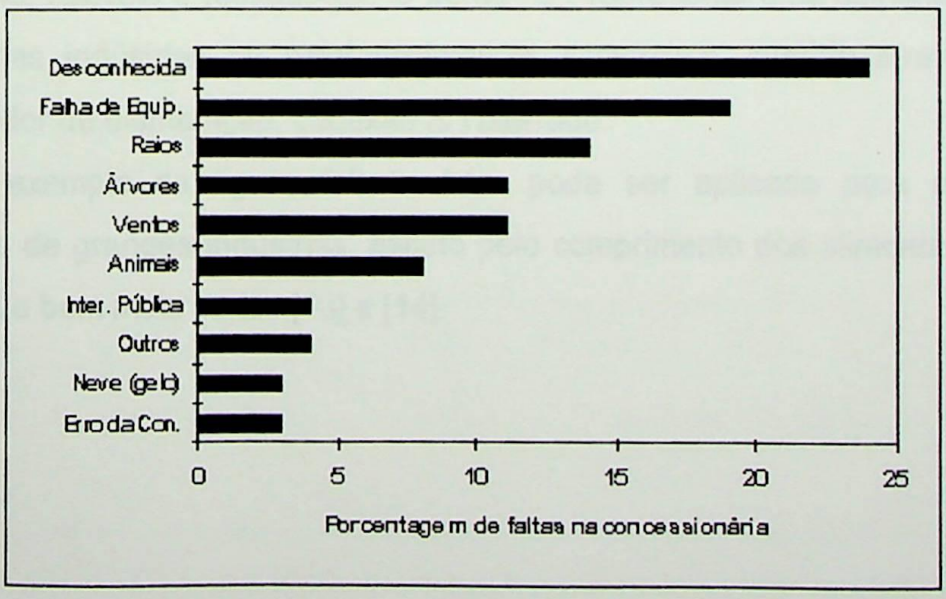


Figura 3.1 - Principais Causas de Faltas

Os resultados desta pesquisa evidenciam causas específicas da região geográfica onde a monitorização foi executada; portanto, é aconselhável que se tenha cuidado especial com a análise e, particularmente, com a interpretação dos dados. Entretanto, estes resultados podem identificar alguns fatores comuns que influenciam a depressão de tensão e também servir como base de dados que indiquem caminhos para prevenção dos problemas.

Considerando-se as faltas no sistema elétrico como a principal causa da depressão de tensão, a caracterização do processo de eliminação de faltas, além dos itens que as influenciam, torna-se de grande importância para a análise do distúrbio.

3.3 - Processo de Eliminação de Faltas

O diagrama unifilar, apresentado na figura 3.2, tem como objetivo exemplificar o processo de eliminação de falta em um alimentador, com a geração de depressão de tensão sobre os alimentadores paralelos. Este circuito, representa uma subestação de 20 [MVA], com três circuitos de distribuição, cada um possuindo aproximadamente 17 [km]. Cada alimentador possui um circuito de proteção com disjuntor e relés de sobrecorrente, para detectar a falta e eliminá-la. No alimentador F1, pode-se observar, mais detalhadamente, os dispositivos adicionais de proteção, por exemplo, fusíveis e religadores. O ponto "C", representa uma alimentação típica de pequenas indústrias ou estabelecimentos comerciais, suprido através de um transformador de distribuição, conexão Δ/Yaterrado.

O exemplo da figura 3.2 também pode ser aplicado para sistema de distribuição de grandes indústrias, exceto pelo comprimento dos alimentadores que, no caso, são bem mais curtos [13] e [14].

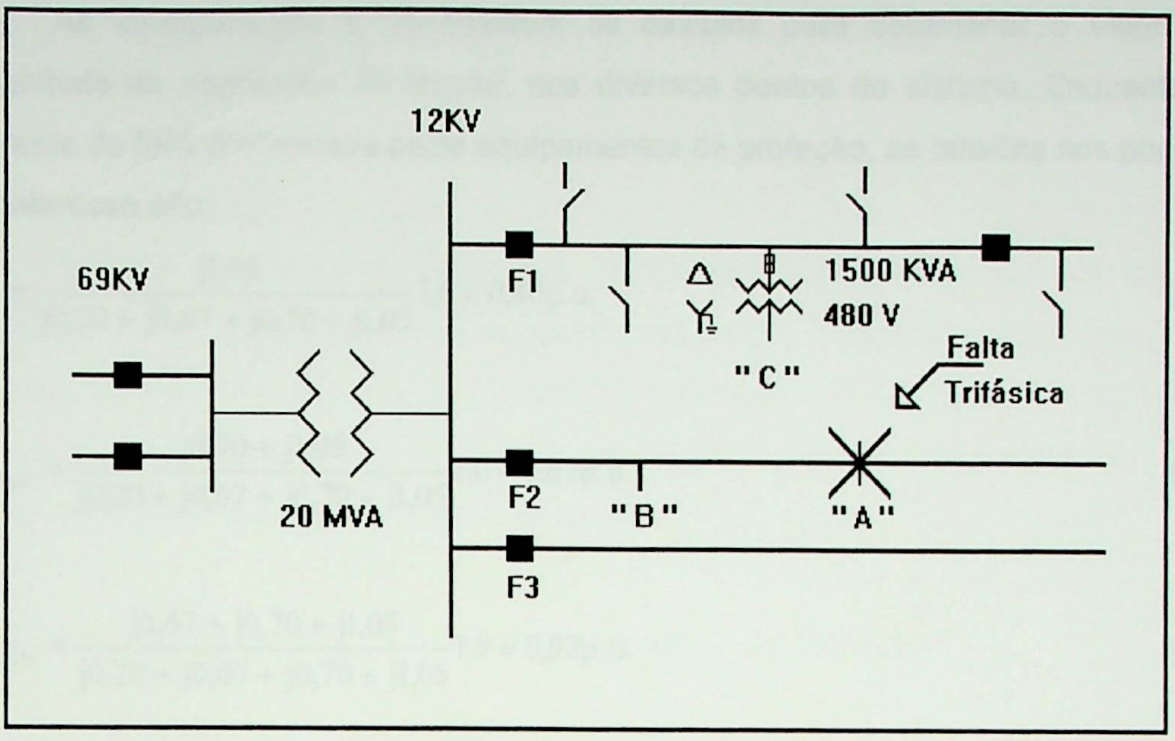


Figura 3.2 - Diagrama Unifilar

Os valores da depressão de tensão são calculados a partir do diagrama de impedância de seqüência positiva, apresentado na figura 3.3, utilizando-se o conceito de divisor de impedância. Nos cálculos realizados, o sistema foi representado somente pelas reatâncias dos equipamentos e componentes. Considerou-se uma falta trifásica no ponto "A" da figura 3.2, com impedância de falta nula.

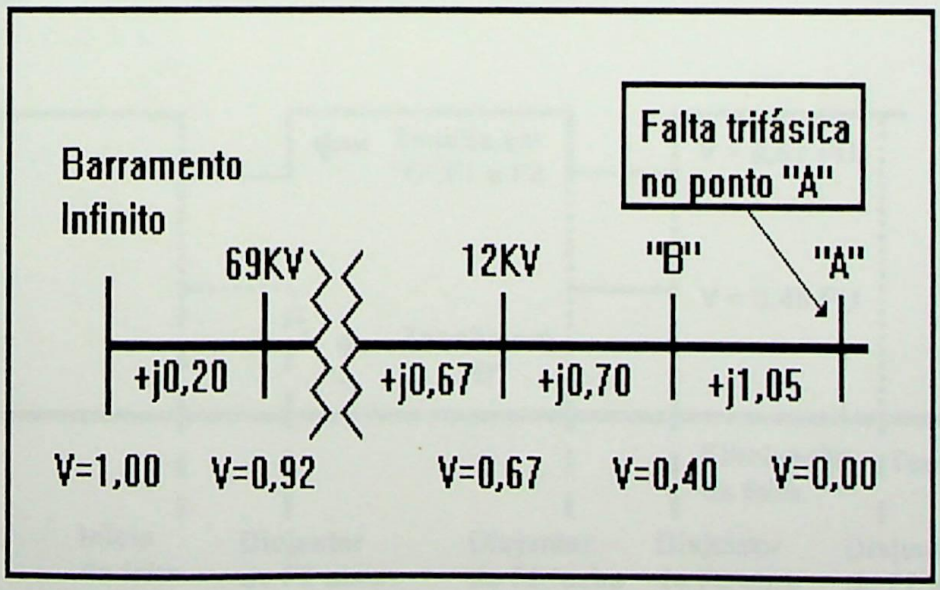


Figura 3.3 - Diagrama de Impedância de Seqüência Positiva

As equações (1) a (3) mostram os cálculos para determinar o valor da magnitude da depressão de tensão, nos diversos pontos do sistema. Enquanto a corrente de falta é eliminada pelos equipamentos de proteção, as tensões nos pontos de interesse são:

$$V_B = \frac{j1,05}{j0,20 + j0,67 + j0,70 + j1,05} 1,0 = 0,40 p.u. \quad (1)$$

$$V_{12KV} = \frac{j0,70 + j1,05}{j0,20 + j0,67 + j0,70 + j1,05} 1,0 = 0,67 p.u. \quad (2)$$

$$V_{69KV} = \frac{j0,67 + j0,70 + j1,05}{j0,20 + j0,67 + j0,70 + j1,05} 1,0 = 0,92 p.u. \quad (3)$$

Considerando-se que a queda de tensão, provocada pelo fluxo de corrente, através da impedância da linha do alimentador de F1, seja desprezível, pode-se adotar que a tensão no ponto "C" será a mesma calculada para o barramento de 12 [kV].

A figura 3.4 apresenta o diagrama das tensões nos pontos "B, C, F1 e F3", durante a ocorrência de uma falta trifásica, no ponto "A" da figura 3.2.

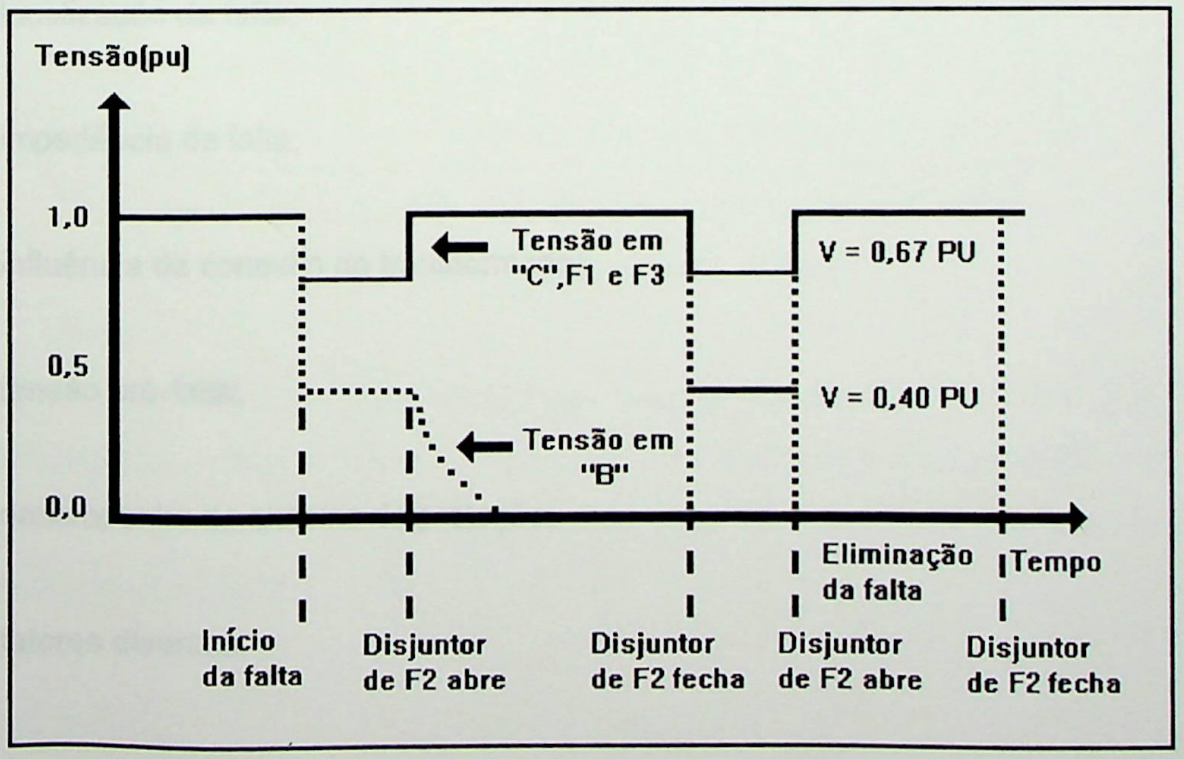


Figura 3.4 - Perfil das Tensões Durante a Eliminação da Falta

A linha tracejada na figura 3.4 representa a tensão eficaz no ponto "B", enquanto que a linha contínua representa a tensão eficaz sobre os alimentadores F1, F3 e na carga "C". O eixo dos tempos (abscissa) mostra a seqüência dos eventos, após o início da falta.

Através da análise da figura 3.4 , pode-se concluir, que todas as cargas conectadas ao alimentador F2, incluindo a barra "B", sofrerão uma completa interrupção quando o disjuntor de F2 abrir para eliminar a falta e também, que todas as cargas conectadas aos alimentadores F1, F3 incluindo o ponto "C", irão experimentar sucessivas depressões de tensão.

3.4 - Fatores que Influenciam a Depressão de Tensão

A análise da depressão de tensão pode ser considerada complexa por envolver diversos fatores que influenciam em suas características **(freqüência, magnitude e duração)**; são enumerados, a seguir, alguns desses fatores:

- tipo de falta;
- localização da falta;
- impedância de falta;
- influência da conexão do transformador;
- tensão pré-falta;
- desempenho do sistema de proteção;
- fatores diversos.

3.4.1 - Tipo de Falta:

As faltas no sistema elétrico podem ser classificadas em 4 tipos principais: as faltas envolvendo as três fases, duas fases e a terra, duas fases e, finalmente, uma fase e a terra. As faltas trifásicas são consideradas equilibradas gerando, portanto, depressões de tensão equilibradas, as demais faltas são consideradas desequilibradas e, em conseqüência, produzem depressões de tensão também desequilibradas.

Outro fato importante é que as faltas equilibradas produzem depressão de tensão com maior magnitude que as faltas desequilibradas. A título de exemplo, a figura 3.5 apresenta a intensidade de depressão de tensão em função da distância e do tipo de curto-circuito para um sistema de distribuição de 13,8 [kV] típico [7].

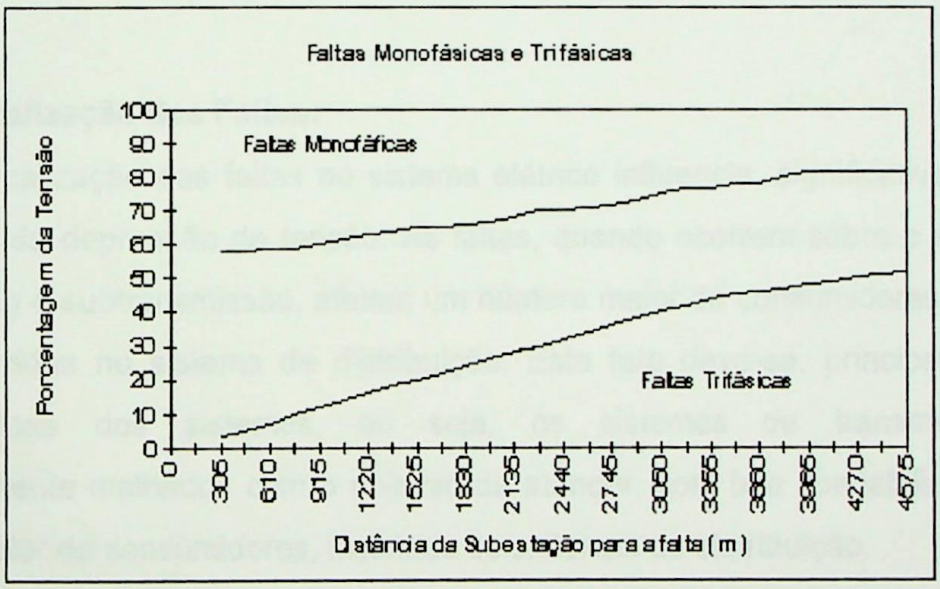


Figura 3.5 - Intensidade da Depressão de Tensão em Função do Tipo e da Distância das Faltas

Para sistemas de transmissão nas classes de 69/138/230 e 345 [kV], as concessionárias americanas realizaram pesquisas com o objetivo de identificar quais são os percentuais de ocorrência para cada tipo de falta, cujos resultados estão sintetizados na tabela 3.1 [13].

Tabela 3.1 - Percentuais de Faltas em Sistemas Elétricos de Transmissão Americano

	Fase-terra	Duas fases-terra	Fase-fase	Trifásicas
345 kV	91%	7%	1%	1%
230 kV	80%	17%	1,5%	1,5%
138 kV	73%	17%	6%	4%
69 kV	65%	22%	7%	6%

Como era esperado, a tabela 3.1 mostra que as faltas monofásicas possuem, indiscutivelmente, maior porcentagem de ocorrência, e as faltas trifásicas são as que possuem a menor probabilidade de ocorrência. Conforme pode ser constatado, faltas envolvendo duas fase e terra são, após as faltas fase-terra, as que possuem maior incidência.

3.4.2 - Localização das Faltas:

A localização das faltas no sistema elétrico influencia, significativamente, na magnitude da depressão de tensão. As faltas, quando ocorrem sobre o sistema de transmissão e subtransmissão, afetam um número maior de consumidores do que as faltas ocorridas no sistema de distribuição. Este fato deve-se, principalmente, às características dos sistemas, ou seja, os sistemas de transmissão são freqüentemente malhados com o objetivo de atender, com boa confiabilidade, a um número maior de consumidores, incluindo os sistemas de distribuição.

Já os sistemas de distribuição possuem, geralmente, configuração radial e também são projetados para suprir um número restrito de consumidores. Como conseqüência, curtos-circuitos em sistemas de distribuição, causam impacto em um número menor de consumidores. A figura 3.6 ilustra este fato: quando ocorre uma falta no ponto "A", todo o sistema irá sentir os efeitos da depressão de tensão (distribuição e transmissão); já uma falta no ponto "B", apenas o sistema de distribuição irá percebê-la.

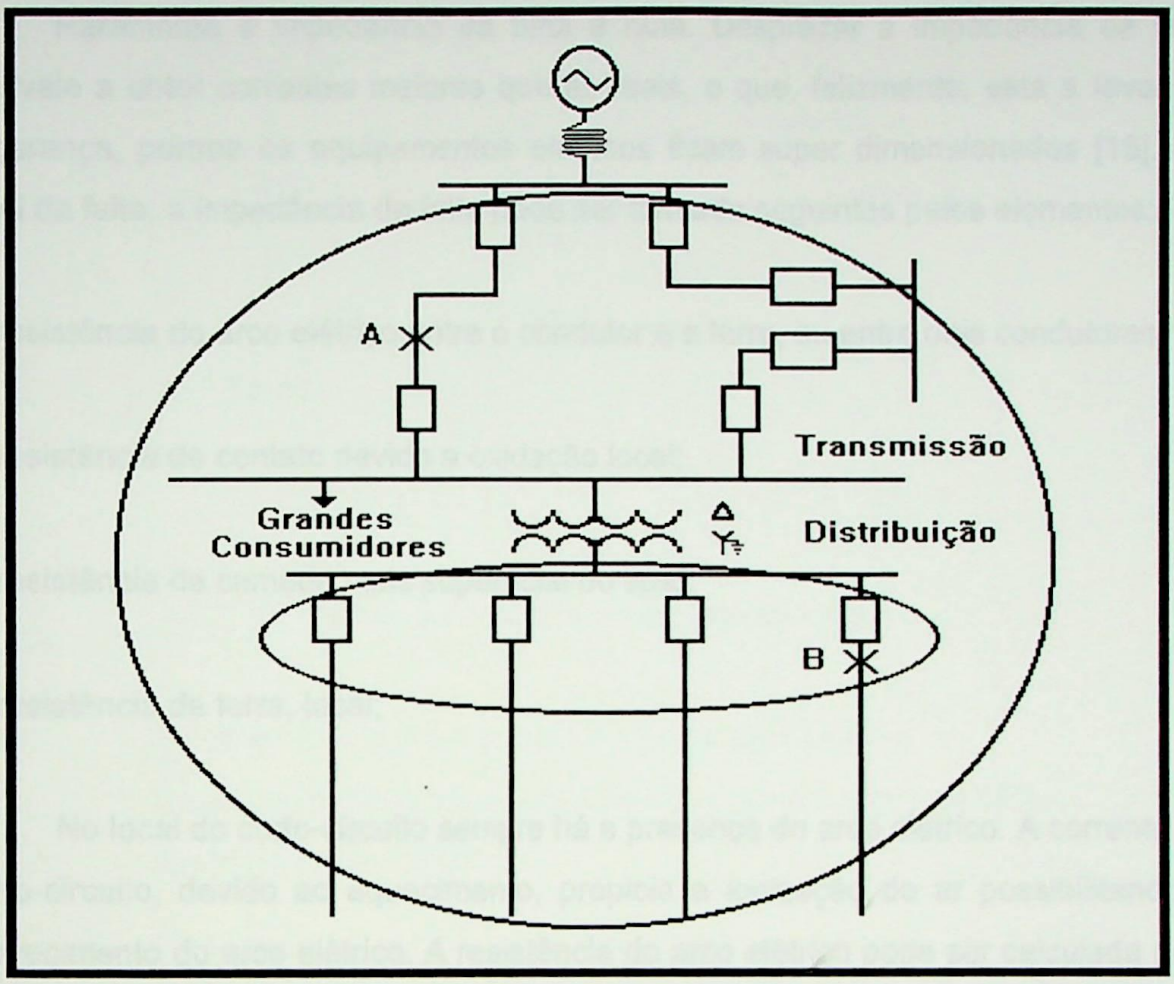


Figura 3.6 - Área de Influência dos Tipos de Faltas

A título de exemplo, há registros de que uma falta, sobre um sistema de transmissão de 230 [kV], será percebida sob a forma de depressão de tensão por equipamentos instalados a, aproximadamente, 160 [km]; para um sistema de 100 [kV] o raio de ação será de 80 [km] [10].

3.4.3 - Impedância de Falta:

A maior parte das faltas ocorridas no sistema elétrico são resultantes de arcos em isoladores; sendo assim, a impedância entre a linha e a terra (impedância de falta) depende da resistência do arco, da torre e até da base da torre, caso não haja cabos para aterramento. As resistências da base da torre constituem a maior parte da resistência entre a linha e a terra e dependem das condições do solo.

Raramente a impedância de falta é nula. Desprezar a impedância de falta eqüivale a obter correntes maiores que as reais, o que, felizmente, está a favor da segurança, porque os equipamentos elétricos ficam super dimensionados [15]. No local da falta, a impedância de falta pode ser formada seguintes pelos elementos:

- resistência do arco elétrico entre o condutor e a terra, ou entre dois condutores;
- resistência de contato devido a oxidação local;
- resistência da camada mais superficial do solo;
- resistência de terra, local;

No local do curto-circuito sempre há a presença do arco elétrico. A corrente de curto-circuito, devido ao aquecimento, propicia a ionização do ar possibilitando o aparecimento do arco elétrico. A resistência do arco elétrico pode ser calculada pela fórmula de Warrington indicada pela expressão (4).

$$R_{arco-eletrico} = \frac{28707xL}{I^{1,4}}[\Omega] \qquad (4)$$

Onde:

L - Comprimento do arco elétrico

I - Corrente elétrica

A figura 3.7 mostra um diagrama de impedância para o cálculo da depressão de tensão, levando em consideração a impedância de falta para ocorrência de um curto-circuito trifásico no ponto "A".

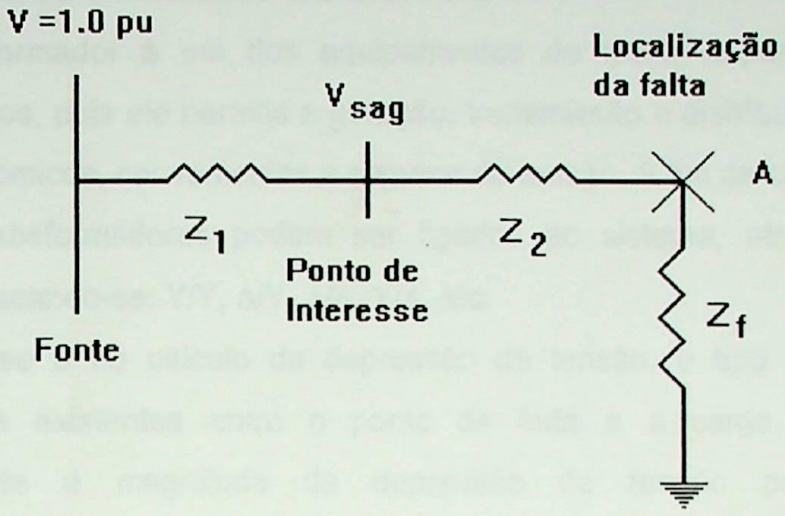


Figura 3.7 - Diagrama de Impedâncias

onde: Z_1 - Impedância entre a fonte e o ponto de interesse

Z_2 - Impedância entre o ponto de interesse e o ponto de falta

Z_f - Impedância de falta

O efeito da impedância de falta no cálculo da depressão de tensão, pode ser determinado conforme equação (5).

$$V_{sag} = \frac{Z_2 + Z_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \times V_{fonte} \qquad (5)$$

Através da análise da equação (5), pode-se observar, que a impedância de falta, irá alterar o valor calculado da depressão de tensão.

A depressão de tensão está relacionada com a queda de tensão, provocada pelo fluxo de corrente de curto-circuito na impedância do sistema; portanto, quanto maior o valor da impedância de falta, menor será o valor de corrente de curto-circuito e, em conseqüência, maior será a depressão de tensão e vice-versa.

3.4.4 - Influência da Conexão do Transformador:

O transformador é um dos equipamentos de maior importância para os sistemas elétricos, pois ele permite a geração, transmissão e distribuição de energia em níveis econômicos, convenientes e seguros de tensão. A fim de cumprir com este objetivo, os transformadores podem ser ligados ao sistema, através de várias conexões, destacando-se: Y/Y, Δ/Y, Δ/Δ, Y/Δ, etc.

Na análise e no cálculo da depressão de tensão, o tipo de conexão do transformadores existentes entre o ponto de falta e a carga, irá influenciar significantemente a magnitude da depressão de tensão percebida pelos consumidores [11], [13] e [14]. Para ilustrar este fato, escolheu-se uma falta fase-terra no primário do transformador, como mostra a figura 3.8. O defeito fase-terra foi escolhido por ser o tipo de curto-circuito mais comum em sistemas elétricos [7].

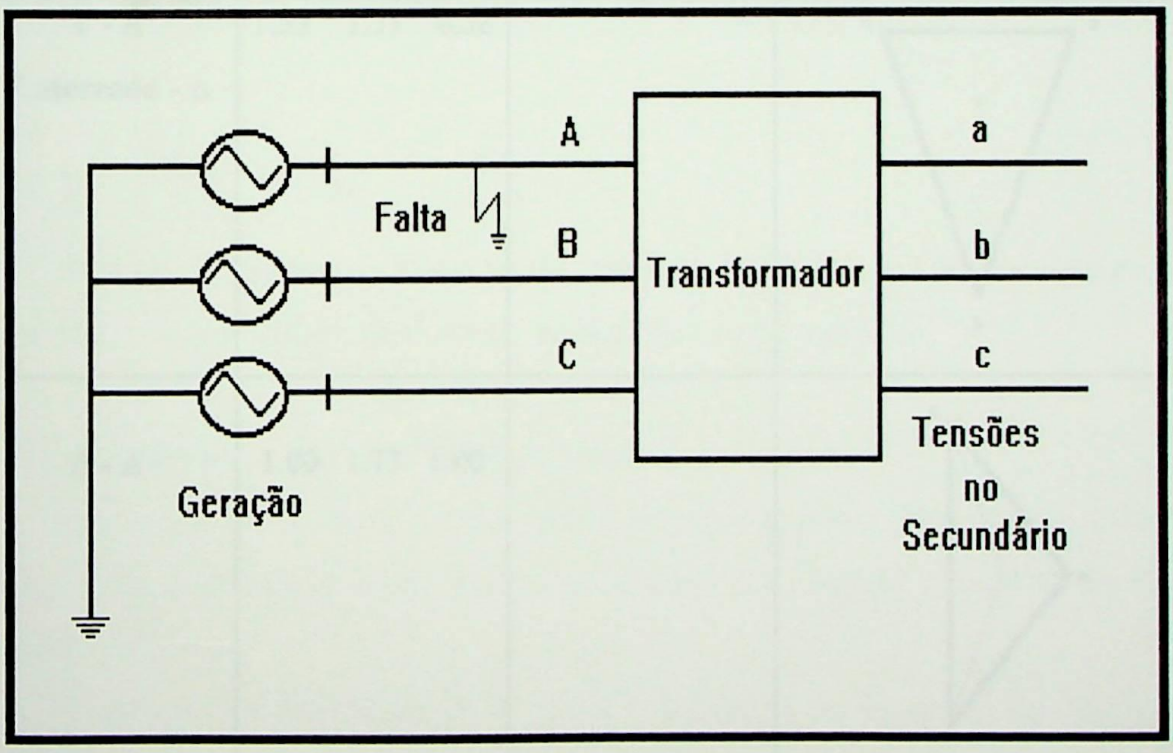
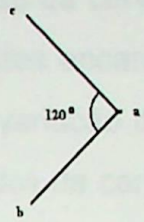
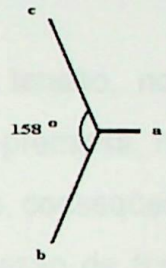
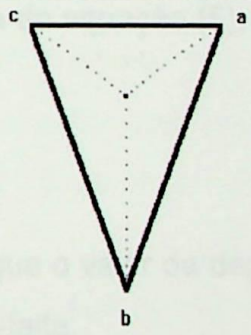
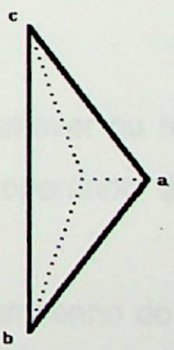
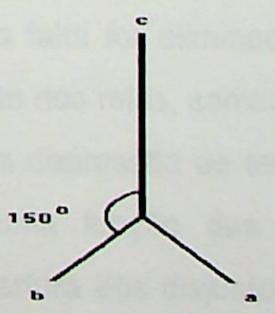


Figura 3.8 - Falta Fase-Terra no Primário do Transformador

Utilizando-se a teoria de componentes simétricos, foram calculados os valores da depressão de tensão refletidos para o secundário do transformador. Os resultados e diagramas fasoriais são apresentados na tabela 3.2. Vale destacar, que as simplificações, bem como as demonstrações de todos os cálculos, se encontram no Anexo 1 desta dissertação.

Tabela 3.2 - Efeito das Conexões de Transformadores

Conexão do transformador	Fase - Fase			Fase - Neutro			Diagrama Fasorial
	Vab	Vbc	Vca	Van	Vbn	Vcn	
Y aterrado - Y aterrado	1.00	1.73	1.00	0.00	1.00	1.00	
Y aterrado - Y Y - Y Y - Y aterrado	1.00	1.73	1.00	0.33	0.88	0.88	
Y - Δ Y aterrado - Δ	1.53	1.53	0.58				
Δ - Δ	1.00	1.73	1.00				
Δ - Y aterrado Δ - Y	0.58	1.53	1.53	0.58	0.58	1.00	

3.4.5 - Tensão Pré-Falta:

Em condições normais de operação, as concessionárias de energia, buscam suprir seus consumidores com tensões de operação entre os limites 0,95 e 1,05 [p.u.] Basicamente, o perfil de tensão, em regime permanente, é função da curva de carga do sistema elétrico e também, da disponibilidade de equipamentos encarregados da regulação de tensão. Normalmente, o perfil de tensão segue a variação da curva de carga diária, observando-se elevações de tensão durante períodos de carga leve, de um modo geral, de madrugada, sábados, domingos e feriados. Em contrapartida, as reduções de tensão, ocorrem nos períodos de carga pesada.

Geralmente, em sistemas elétricos, assume-se que a tensão, no instante anterior à falta (tensão pré-falta), é de 1 [p.u.]; no entanto, esta premissa, na maioria das vezes, não é verdadeira, pelas razões citadas anteriormente, conseqüentemente, pode levar a erros quando do cálculo da magnitude da depressão de tensão [14]. Este fato pode ser ilustrado através da equação (6), derivada da equação (5), do item 3.4.3.

$$V_{sag} = \frac{Z_2 + Z_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} V_{pre'-falta} \qquad (6)$$

Através da análise da equação (6), pode-se concluir que o valor da depressão de tensão é diretamente proporcional ao valor da tensão pré-falta.

3.4.6 - Desempenho do Sistema de Proteção:

O sistema de proteção possui, como principal objetivo, remover ou retirar de serviço todo e qualquer equipamento ou circuito que estiver operando de forma anormal [16].

A duração da depressão de tensão é dependente do desempenho do sistema de proteção que, por sua vez, é dependente da atuação dos equipamentos destinados a eliminar a falta. De fato, quanto mais rápido a falta for eliminada do sistema, ou seja, quanto menor for o tempo gasto pela atuação dos relés, somado ao tempo de abertura dos disjuntores, menor será a duração da depressão de tensão. Vale ressaltar que o tempo de atuação dos relés é uma função das suas características e dos ajustes implantados; já o tempo de abertura dos disjuntores é uma função apenas das características deste equipamento.

A título de Ilustração, é apresentado na tabela 3.3 o tempo total de eliminação de faltas pelos equipamentos de proteção para cada classe de tensão.

Tabela 3.3 - Tempo Típico de Eliminação de Falta

Classe de Tensão	Duração da Depressão de Tensão
Extra Alta Tensão (345, 500 kV)	5 a 8 ciclos
Subtransmissão (138 kV)	8 a 20 ciclos
Média Tensão	15 a 60 ciclos

3.4.7 - Fatores Diversos:

a) Densidade de Raios da Região (Nível Cerâunico):

O nível cerâunico é definido como sendo o número de dias por ano em que houve trovoadas. Define-se "trovoada" como sendo o conjunto dos fenômenos eletromagnéticos, acústicos e luminosos que ocorrem durante a descarga atmosférica [11].

Segundo pesquisas realizadas, a maioria das faltas, em linhas de transmissão, são devido à ocorrência de descargas atmosféricas que, por sua vez, são as principais causas da depressão de tensão [7] e [11]. A incidência de descargas atmosféricas sobre o sistema de energia elétrica, provocará sobretensões que poderão romper a isolação da cadeia de isoladores, ocasionando curto-circuitos para terra.

Portanto, de posse do nível cerâunico da região onde o sistema elétrico está localizado e sabendo que as descargas atmosféricas levam, na maioria da vezes, a ocorrência da depressão de tensão, pode-se, então, realizar uma estimativa da probabilidade de ocorrência deste distúrbio. É bom lembrar, que nem todas as descargas atmosféricas resultam em depressão de tensão.

b) Poluição:

Os problemas relacionados com a poluição, na maioria dos casos, estão próximos aos grandes centros urbanos que possuem concentração de indústrias que geram poluição.

A fuligem, gerada pelas indústrias e automóveis, é depositada sobre os isoladores e equipamentos do sistema elétrico facilitando a ocorrência de faltas à terra quando da incidência de sobretensões, sejam elas de manobra ou de origem atmosférica. A maresia também pode causar os mesmos problemas que a poluição, para sistemas elétricos localizados na área litorânea.

c) Interferências Publicas:

Interferências públicas também são responsáveis pela ocorrência de faltas no sistema elétrico:

- acidentes rodoviários;
- queimadas acidentais ou intencionais debaixo de linhas de transmissão;
- contatos acidentais de guindastes;
- vandalismo;
- práticas de manutenção inapropriadas;
- etc.

3.5 Área de Vulnerabilidade

O conceito de área de vulnerabilidade tem sido desenvolvido com o seguinte objetivo: avaliar a probabilidade de ocorrência da depressão de tensão, abaixo de um determinado valor crítico. A figura 3.9 mostra o diagrama da área de vulnerabilidade para um consumidor industrial que possui, basicamente, dois tipos de carga (A e B) alimentado por um sistema de transmissão. Com a modelação computacional é possível determinar a magnitude da depressão de tensão, experimentada pelos consumidores, para qualquer tipo de falta que ocorrer ao longo do sistema elétrico [9].

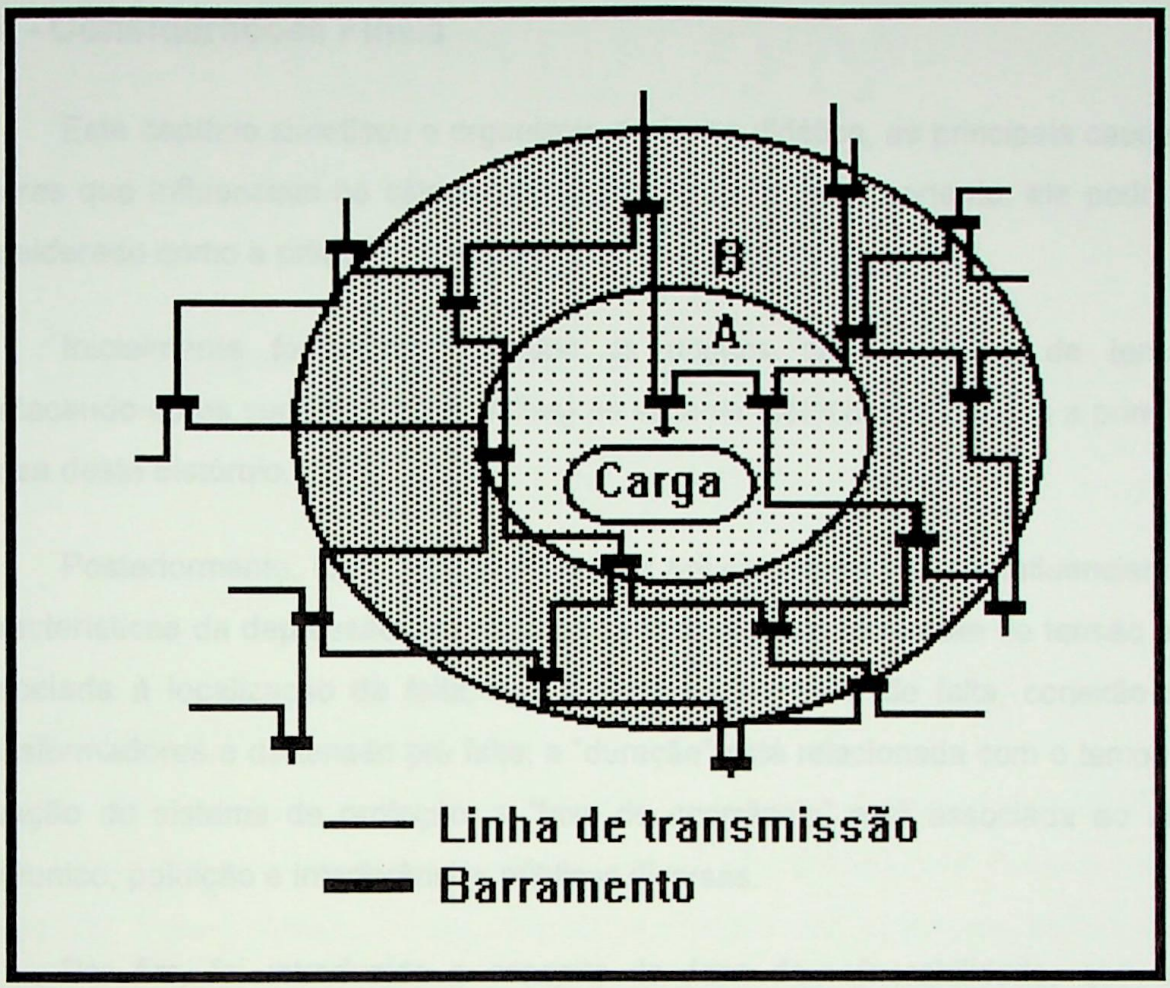


Figura 3.9 - Área de Vulnerabilidade

Pode-se observar através da figura 3.9, que a área de vulnerabilidade é dependente da sensibilidade dos equipamentos. A fim de exemplificar este fato, considera-se que um determinado equipamento (A) é sensível para depressão de tensão abaixo de 0,5 [p.u.], enquanto que um outro equipamento (B) é sensível para depressão de tensão abaixo de 0,9 [p.u.]; conclui-se, pois, que a área de vulnerabilidade do equipamento (A) será menor que a do equipamento (B).

É importante observar, que a probabilidade de falha do equipamento, é função da extensão da área de vulnerabilidade e também que, a área de vulnerabilidade guarda relação com a "distância elétrica" e não, necessariamente, com a "distância geográfica" entre o ponto da falta e a carga sensível.

3.6 - Considerações Finais

Este capítulo sintetizou e organizou, de forma didática, as principais causas e fatores que influenciam no cálculo da depressão de tensão; portanto, ele pode ser considerado como a primeira contribuição efetiva desta dissertação.

Inicialmente foram apresentadas as origens da depressão de tensão, destacando-se os curtos-circuitos (faltas) no sistema elétrico como sendo a principal causa deste distúrbio.

Posteriormente, foram apresentados os principais fatores que influenciam as características da depressão de tensão: a "magnitude" da depressão de tensão está associada à localização da falta, tipo de falta, impedância de falta, conexão dos transformadores e da tensão pré falta; a "duração" está relacionada com o tempo de atuação do sistema de proteção; a "taxa de ocorrência" está associada ao nível ceraunico, poluição e interferências públicas diversas.

Por fim, foi introduzido o conceito de área de vulnerabilidade, que está diretamente relacionado com a sensibilidade dos equipamentos eletro-eletrônicos conectados no sistema elétrico.

CAPÍTULO IV

Sensibilidade dos Equipamentos Eletro-Eletrônicos

4.1 - Considerações Iniciais

O parque industrial brasileiro vem sofrendo um processo de modernização de suas instalações, devido às novas regras de mercado, ditadas pela globalização da economia. Nesse sentido, houve uma automatização dos processos industriais e também a busca por uma utilização mais racional da energia elétrica com o objetivo de atender aos novos conceitos de produção e de controle de qualidade dos produtos fabricados. Estes fatores tem requerido o uso de equipamentos eletro-eletrônicos de última geração: controladores lógicos programáveis (*PLC's*), acionamentos de velocidade variável (*ASD's*), etc. Estes equipamentos permitem a execução de operações complexas e delicadas na indústria, com maior rapidez e eficiência. Em contrapartida, são vulneráveis às variações na QEE, em particular à depressão de tensão. Neste contexto, este capítulo tem como principais objetivos:

- Apresentar a Curva *CBEMA* (*Computer Business Equipment Manufacturers Association*);

- Levantar a sensibilidade dos principais equipamentos eletro-eletrônicos, tomando como base pesquisas bibliográficas recentes;

- Apresentar e aplicar uma metodologia, para a determinação da sensibilidade dos equipamentos eletro-eletrônicos à depressão de tensão.

4.2 - Curva *CBEMA*

O primeiro estudo realizado, com o objetivo de levantar a sensibilidade dos computadores frente aos distúrbios na QEE, foi publicado pela "NORMA IEEE Standart 446, *The Orange Book*" no ano de 1974 [17]; este estudo consistiu no levantamento da sensibilidade dos computadores de sete fabricantes americanos, que culminou no gráfico da figura 4.1.

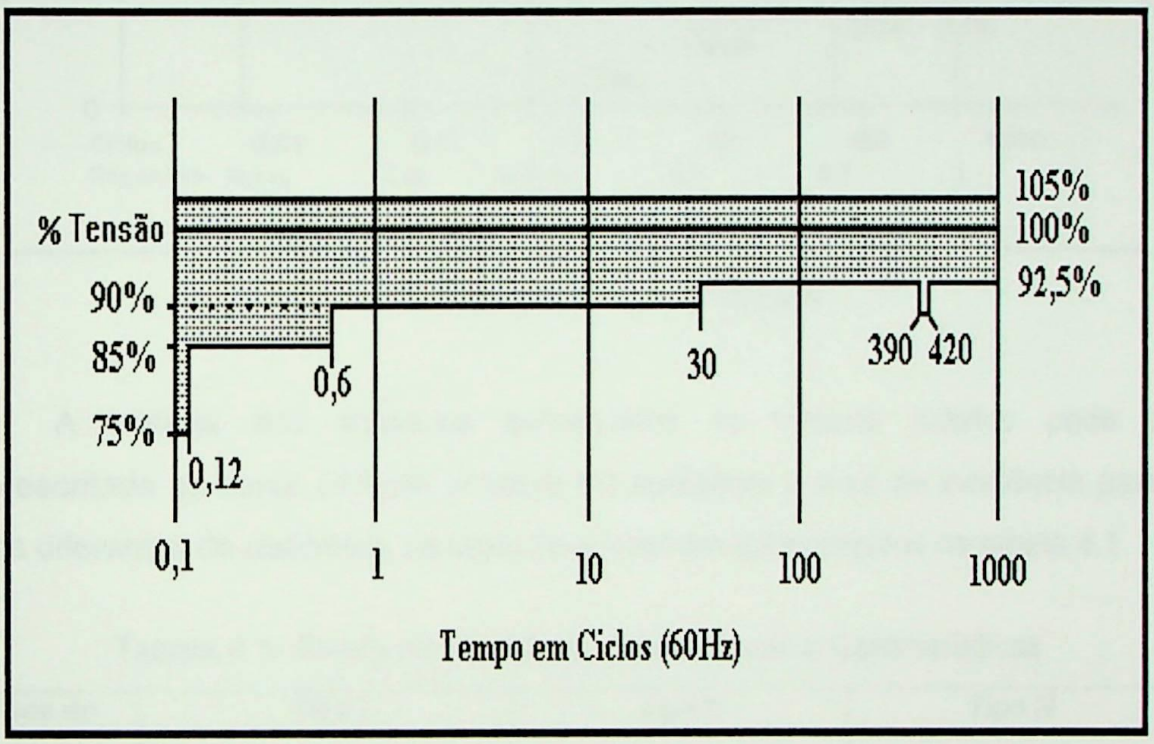


Figura 4.1 - Gráfico de Sensibilidade para Computadores

Embora este gráfico tenha sido construído com base nos dados fornecidos por fabricantes de computadores, representou o marco inicial para a representação da sensibilidade dos equipamentos eletro-eletrônicos a alguns dos distúrbios da QEE.

Ao final da década de 70, surge um primeiro trabalho [18] que levanta dúvidas sobre os valores dos limites de sensibilidade apresentados; de fato, a faixa de sensibilidade mostrada é muito estreita. Nesse sentido, este trabalho propôs uma nova curva de sensibilidade para computadores, apresentada na figura 4.2, a qual possui limites de sensibilidade bem mais amplos. Esta curva foi gerada através de dados da Marinha Americana e também de dados extra-oficiais, obtidos de fabricantes de computadores.

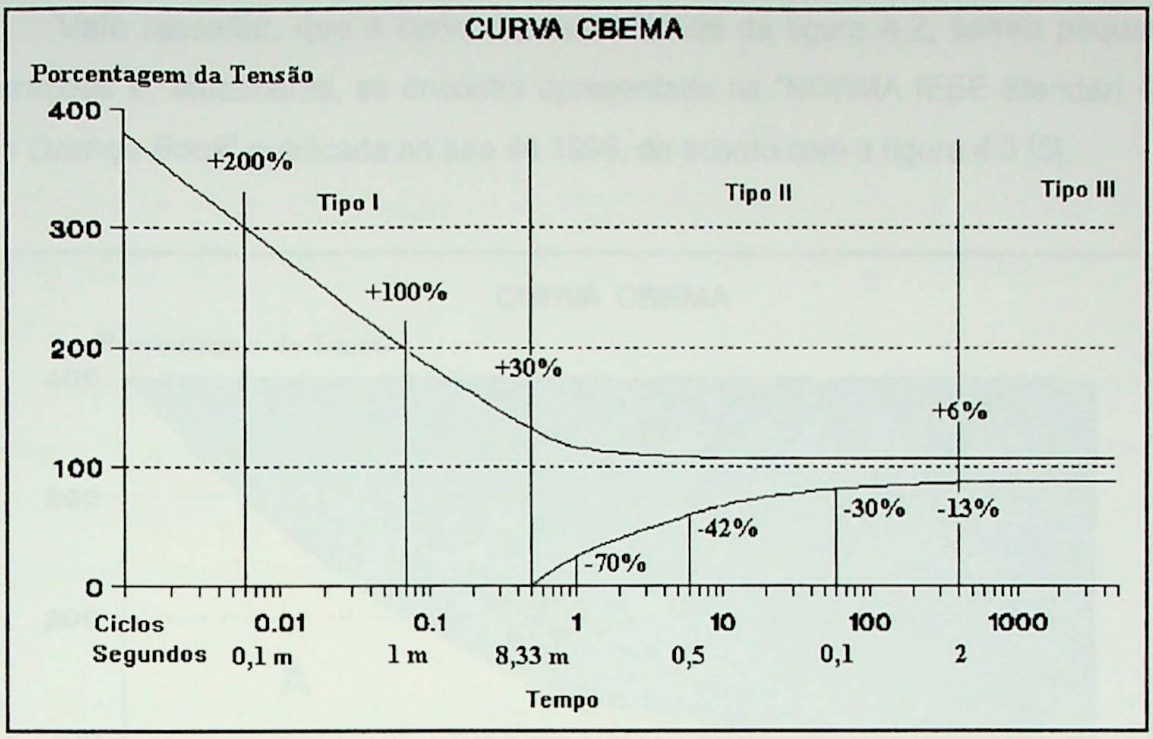


Figura 4.2 - Curva *CBEMA*

A maioria dos distúrbios encontrados no sistema elétrico pode ser representada na curva *CBEMA*. A figura 4.2 apresenta a área de incidência para 3 tipos diferentes de distúrbios, os quais se encontram apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1- Principais Distúrbios, Suas Causas e Características

Tipos de Distúrbio	**Tipo I**	**Tipo II**	**Tipo III**
Definição dos Distúrbios	**Transitórios** (Impulsivos e Oscilatórios)	**Variações de Curta Duração** (interrupções, depressão e salto de tensão)	**Variações de Longa Duração** (subtensões e sobretensões)
Causas	- Descargas atmosféricas - Chaveamentos de bancos de capacitores - Manobras em linhas de transmissão	- Faltas no sistema elétrico - Falhas de equipamentos - Mau funcionamento dos sistemas de controle - Entrada ou saída de blocos de cargas - Entrada ou saída de bancos de capacitores	- Entrada ou saída de blocos de cargas - Entrada ou saída de bancos de capacitores - Ajuste incorreto de "taps" de transformadores

Vale ressaltar, que a curva de sensibilidade da figura 4.2, sofreu pequenas alterações e, atualmente, se encontra apresentada na "NORMA IEEE Standart 446, *The Orange Book*" publicada no ano de 1995, de acordo com a figura 4.3 [5].

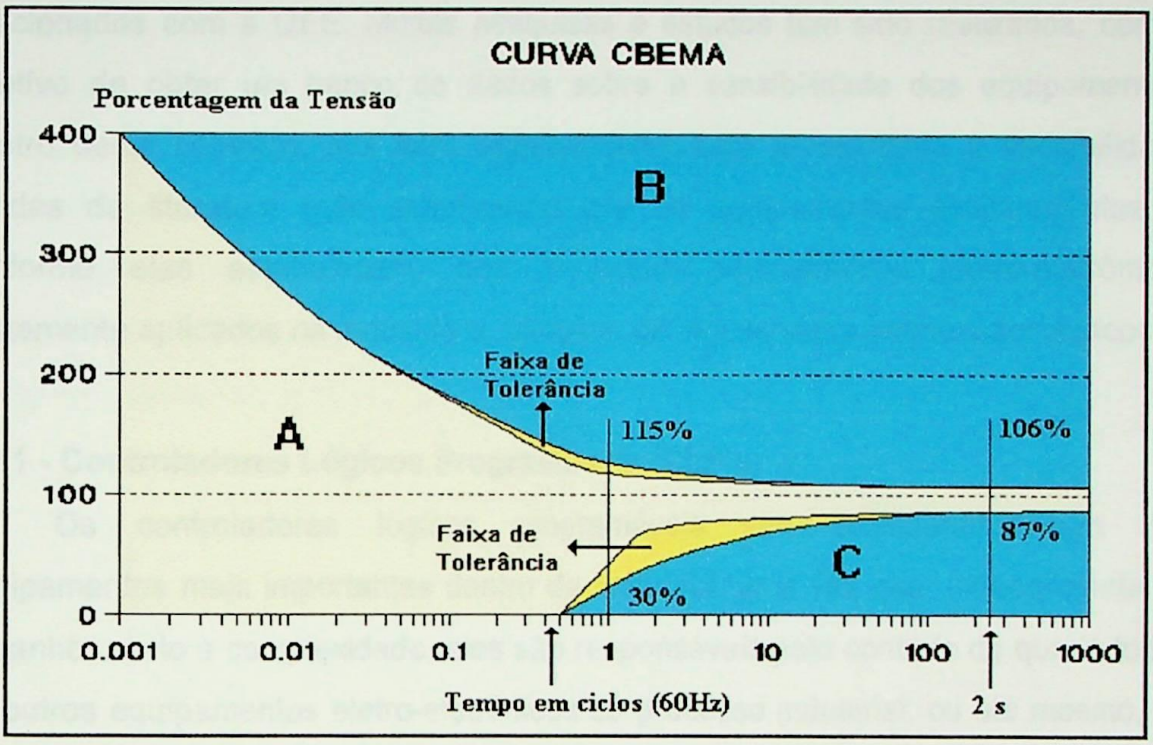


Figura 4.3 - Curva *CBEMA*

A figura 4.3 mostra 3 regiões distintas, que estão associadas às letras A, B , e C; as mesmas representam:

A - região normal de trabalho;

B - região perigosa de trabalho, com possibilidade de ruptura da isolação dos equipamentos (perda de *hardware*);

C - região perigosa de trabalho, com possibilidade de paralisação de alguns equipamentos (disfunções).

A análise da curva *CBEMA*, destaca dois pontos principais: o primeiro é 0,5 ciclo (8,3 [ms.]): neste ponto, qualquer equipamento tem que ser capaz de absorver uma interrupção de energia por este período; o segundo é o ponto de 2 [s]: a partir deste tempo, todos os equipamentos devem suportar, continuamente, quedas de até 13% ou acréscimos até 6%, do valor da tensão nominal.

A depressão de tensão, que é o tema desta dissertação, está representada pela região "C" da curva *CBEMA*.

4.3 - Sensibilidade dos Equipamentos Eletro-Eletrônicos

Atualmente, quem se envolve com a operação de sistemas computadorizados eletrônicos ou áreas congêneres pode, freqüentemente, se deparar com problemas relacionados com a QEE. Muitas pesquisas e estudos têm sido realizados, com o objetivo de obter um banco de dados sobre a sensibilidade dos equipamentos. Dentro deste contexto, nos itens subseqüentes será apresentada a sensibilidade obtidas da literatura (não significando que os equipamentos similares atuarão conforme elas estabelecem) dos principais equipamentos eletro-eletrônicos vastamente aplicados na indústria e, também, de alguns equipamentos domésticos.

4.3.1 - Controladores Lógicos Programáveis (CLP's)

Os controladores lógicos programáveis são considerados um dos equipamentos mais importantes dentro da indústria, uma vez que, independente de tamanho, custo e complexidade, eles são responsáveis pelo controle de quase todos os outros equipamentos eletro-eletrônicos do processo industrial, ou até mesmo, de todo o processo industrial. A título de exemplo, pode-se citar a aplicação de CLP's na indústria automobilística, que caracteriza-se pela sua utilização na estrutura de linhas de montagem, controlando as operações e monitorando o sistema. De um modo geral, quando da ocorrência da depressão de tensão, os CLP's apresentam disfunções, que causam interrupção de parte ou de todo o processo industrial. A figura 4.4 apresenta a curva de sensibilidade para os CLP's, obtidas a partir de [7], [10], [12], [19] e [20].

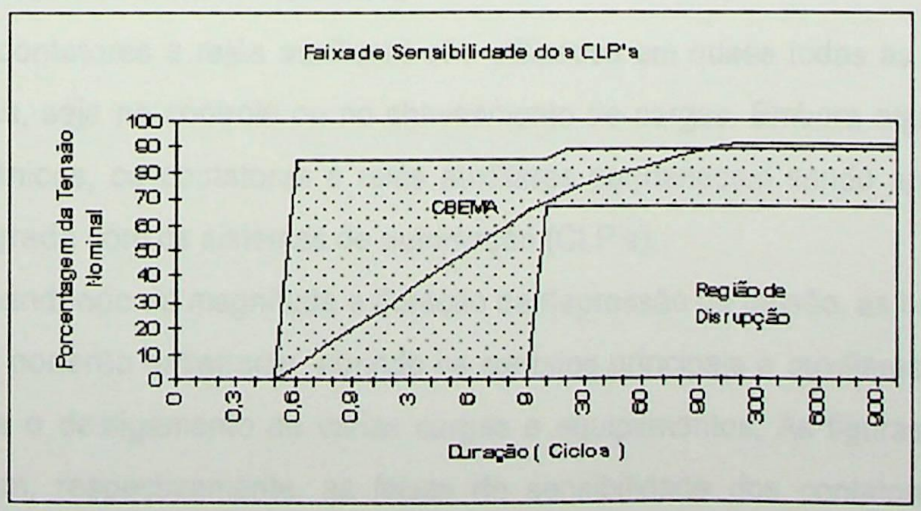


Figura 4.4 - Sensibilidade dos CLP's

4.3.2 - Acionamento de Velocidade Variável (*ASD's*)

Os acionamentos de velocidade variável têm apresentado grande penetração no mercado, devido à flexibilidade de operações, confiabilidade e baixo custo; os *ASD's* são utilizados em muitos processos industriais, sendo que a sua principal aplicação está no acionamento de motores de indução e motores de corrente contínua.

A incidência da depressão de tensão sobre os *ASD's* poderá causar flutuação do torque da máquina, diminuição da velocidade (dependendo da inércia e do torque da carga) e também atuação dos equipamentos de proteção. A curva de sensibilidade dos *ASD's*, frente à depressão de tensão, se encontra apresentada na figura 4.5, obtida de [11], [12] e [19].

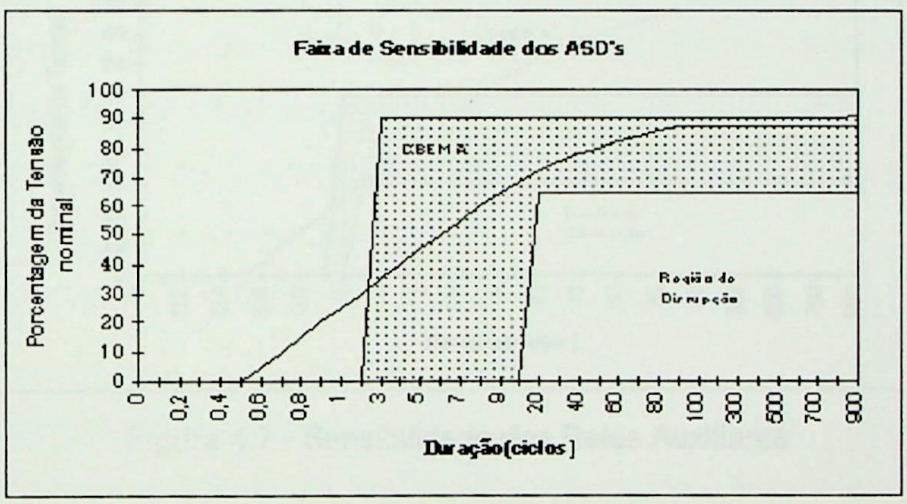


Figura 4.5 - Sensibilidade dos *ASD's*

4.3.3 - Contatores e Relés Auxiliares

Os contatores e relés auxiliares são utilizados em quase todas as operações da indústria, seja no controle ou no chaveamento de cargas. Embora equipamentos eletromecânicos, os contatores e relés auxiliares permanecem sendo aplicados de forma integrada com os sistemas de automação (CLP's).

Dependendo da magnitude e duração da depressão de tensão, as bobinas dos contatores poderão desatracar, abrindo os contatos principais e auxiliares causando a parada e o desligamento de várias cargas e equipamentos. As figuras 4.6 e 4.7 representam, respectivamente, as faixas de sensibilidade dos contatores e relés auxiliares [11], [19] e [20].

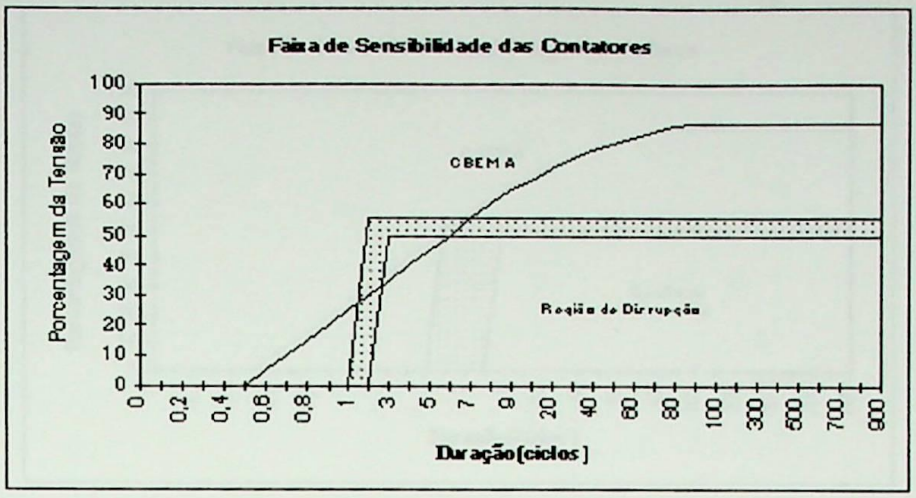


Figura 4.6 - Sensibilidade dos Contatores

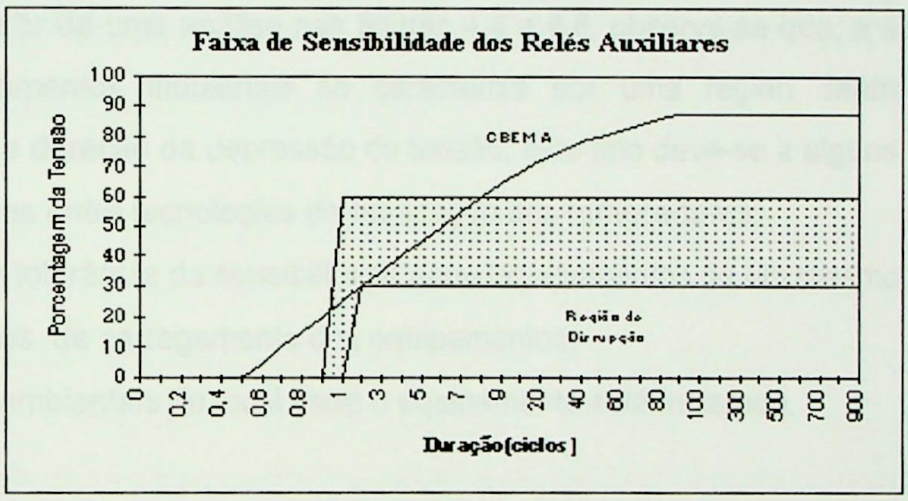


Figura 4.7 - Sensibilidade dos Relés Auxiliares

4.3.4- Microprocessadores

Atualmente, as indústrias possuem grande necessidade de aumentar a produção e, nesse sentido, os microprocessadores têm adquirido o seu espaço; ele possui a característica de fornecer aos processos industriais a realização das mais variadas operações, seja no controle, seja na monitorização de operações de processos, com alta velocidade e performance.

A ocorrência da depressão irá ocasionar a perda da programação dos microprocessadores; como conseqüência, ocorrerá a interrupção dos processos controlados por estes equipamentos. A figura 4.8 mostra a faixa de sensibilidade dos microprocessadores [19].

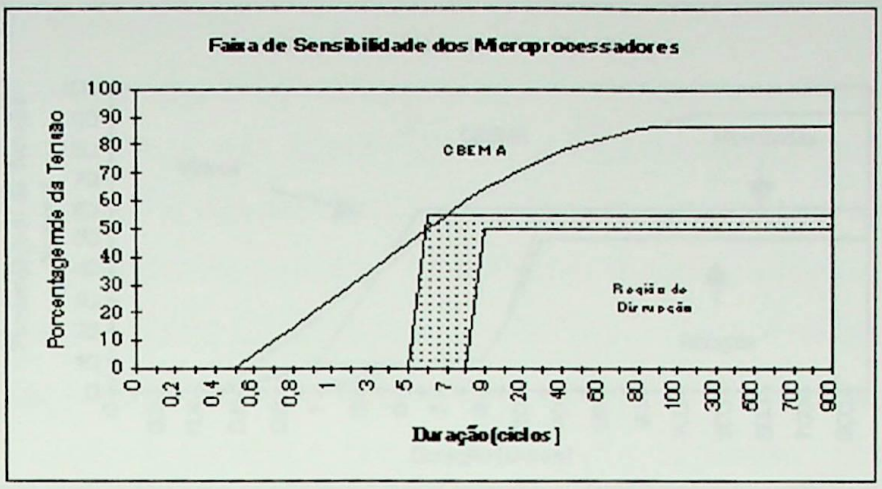


Figura 4.8 - Sensibilidade dos Microprocessadores

A partir de uma análise nas figuras 4.4 a 4.8, observa-se que, a sensibilidade dos equipamentos industriais se caracteriza por uma região dentro do plano magnitude e duração da depressão de tensão; este fato deve-se a alguns fatores:

- Diferenças entre tecnologias de fabricação dos fornecedores;
- Faixa de tolerância da sensibilidade entre equipamentos de um mesmo fabricante;
- Condições de carregamento dos equipamentos;
- Fatores ambientais do local onde o equipamento está instalado.

4.3.5 - Equipamentos Domésticos

Inicialmente, relatos de problemas associados à ocorrência dos distúrbios da QEE, ocorriam apenas para os equipamentos de uso industrial. Contudo, devido ao uso, cada vez mais intensivo, de equipamentos eletro-eletrônicos, os consumidores residenciais começaram a perceber os problemas ligados a QEE e exigir das concessionárias o fornecimento de energia com melhor qualidade. Dentro deste contexto, julgou-se importante a apresentação da curva de sensibilidade dos principais equipamentos domésticos, uma vez que os mesmos estão presentes no cotidiano de uma boa parte da população. Vale ressaltar, que os efeitos causados pela incidência da depressão de tensão sobre equipamentos de uso doméstico, não estão normalmente associados a prejuízos financeiros, mas sim à satisfação dos consumidores. A figura 4.9 apresenta a curva de sensibilidade para *VCR's*, fornos de microondas e relógios digitais, quando submetidos à depressão de tensão [21].

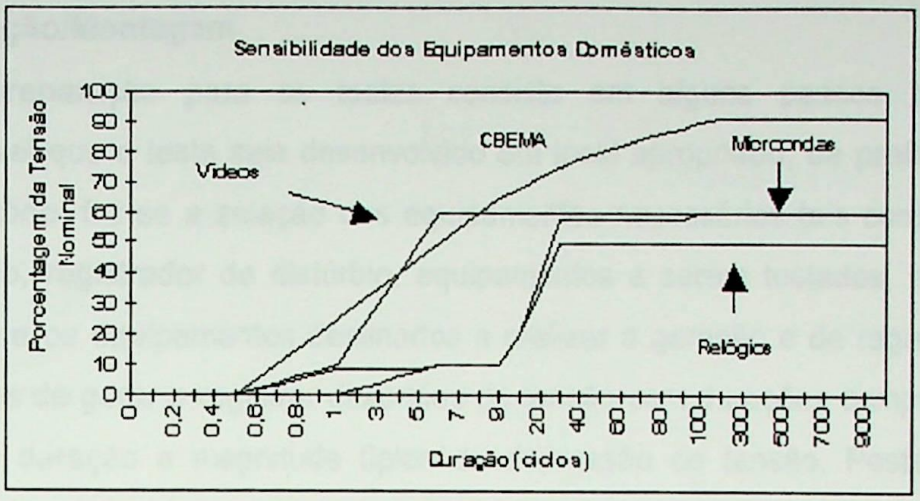


Figura 4.9 - Sensibilidade de Equipamentos Domésticos

4.4 - Metodologia para Determinação da Sensibilidades dos Equipamentos Eletro-Eletrônicos

As curvas de sensibilidade dos equipamentos apresentadas até então, foram obtidas através de referências bibliográficas; considerando que estas pesquisas foram realizadas, em sua grande maioria, nos EUA, elas representam a sensibilidade dos equipamentos fabricados naquele país. Portanto, a fim de conhecer a sensibilidade dos equipamentos utilizados no Brasil, será proposta, neste item, uma metodologia para obtenção da sensibilidade de equipamentos eletro-eletrônicos.

4.4.1 - Objetivo

A Metodologia, tem como objetivo principal, levantar a sensibilidade dos equipamentos eletro-eletrônicos frente à depressão de tensão e traçar as suas curvas de sensibilidade no plano: tensão x tempo.

4.4.2 - Etapas

A Metodologia está fundamentada nos testes a serem realizados nos equipamentos. Por conveniência, estes testes foram divididos em três etapas: **preparação/montagem, execução e análise**, descritas a seguir.

a) Preparação/Montagem

A preparação para os testes consiste em alguns passos básicos: é aconselhável que o teste seja desenvolvido em local apropriado, de preferência em um laboratório; faz-se a seleção dos equipamentos necessários tais como: gerador de distúrbio, registrador de distúrbio, equipamentos a serem testados, etc. É bom lembrar, que os equipamentos destinados a realizar a geração e de registro devem ser capazes de gerar e registrar distúrbios de tensão com durações compreendendo a faixa de duração e magnitude típica da depressão de tensão. Posteriormente, deve-se realizar o registro dos dados dos equipamentos a serem testados, como por exemplo: tensão de alimentação, potência, modelo, fabricante, entre outros, conforme tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Dados sobre o equipamento

Equipamento Ensaiado	
Marca/Modelo	
Data do ensaio	
Tensão Nominal	
Potência Nominal	

Alguns cuidados devem ser tomados em relação aos equipamentos a serem testados.

- os equipamentos devem ser preferencialmente novos;
- verificar se os equipamentos possuem baterias de *Back-up.* Em caso positivo, elas devem ser retiradas.

Após realizada a fase inicial, pode-se escolher a instrumentação de acordo com as necessidades, fundo de escala, potência, etc. É também aconselhável a verificação dos cabos e fios com os quais serão feitas as conexões entre os equipamentos.

Finalmente, após realizado todos os passos anteriores, pode-se iniciar a montagem, tomando-se como base o circuito apresentado na figura 4.10.

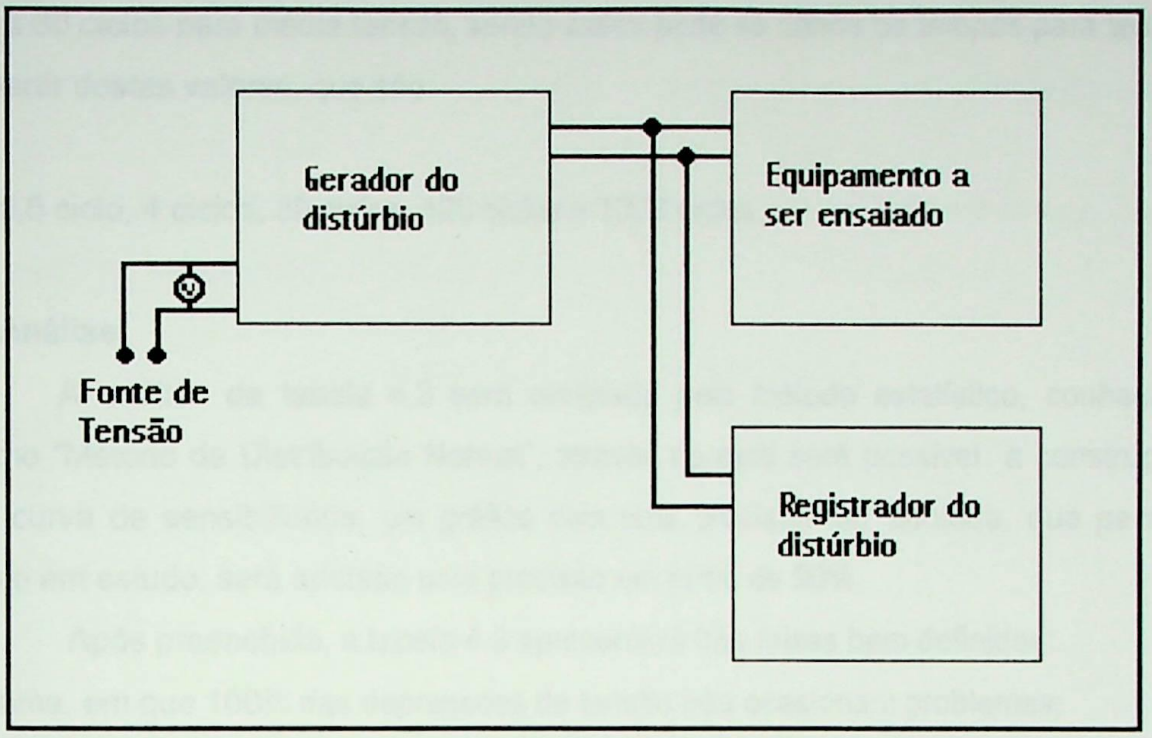


Figura 4.10 - Circuito de Teste

b) Execução

A fase de execução consiste no teste propriamente dito. Para esta fase foi desenvolvida um ficha de execução, conforme tabela 4.3, que deverá ser devidamente preenchida com os resultados dos testes.

Tabela 4.3 - Ficha de Execução

Duração =	(ciclos)																
Teste	Magnitude da Depressão de Tensão (%VN)																
nº	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01																	
02																	
03																	
04																	
05																	
06																	
07																	
08																	
09																	
10																	

Para completar a tabela 4.3 utilizam-se os numerais 1 (um) e 0 (zero), que são usados para identificar as magnitudes em que os equipamentos apresentaram ou não problemas respectivamente, devido à ocorrência da depressão de tensão.

Os testes devem ser realizados para variadas durações e magnitudes do distúrbio. Considerando que os tempos típicos para a depressão são de 5 a 8 ciclos para extra alta tensão (345, 500 kV), 8 a 20 ciclos para o nível de subtransmissão e

15 a 60 ciclos para média tensão, sendo assim pode-se definir os tempos para testes a partir destes valores, que são:

- 0,5 ciclo, 4 ciclos, 30 ciclos, 120 ciclos e 1000 ciclos

c) Análise

A análise da tabela 4.3 será realizada pelo método estatístico, conhecido como "Método de Distribuição Normal", através do qual será possível a construção da curva de sensibilidade, um gráfico com uma precisão ser adotada, que para o caso em estudo, será adotado uma precisão em torno de 90%.

Após preenchida, a tabela 4.3 apresentará três faixas bem definidas:

- uma, em que 100% das depressões de tensão não ocasionam problemas;
- uma intermediária, em que parte das depressões de tensão ocasionam problemas;
- uma terceira, em que 100% das depressões de tensão ocasionam problemas.

A faixa que necessita de análise é a faixa transitória, ou seja, a faixa onde os equipamentos apresentam ou não problemas definidos por "1" ou "0", respectivamente. Após determinada a faixa de transição na tabela do teste, calcula-se a porcentagem de casos que apresentaram problemas, para cada nível de depressão de tensão aplicada, e normalizam-se os resultados através da tabela de distribuição normal, apresentada no anexo 2. A partir daí, pode-se encontrar a equação de reta, definida pela expressão (4.1).

Existem diversos métodos para obtenção da melhor reta: na maioria das vezes, utiliza-se o procedimento chamado de "mínimos quadrados", segundo o qual, a reta a ser adotada, deverá ser aquela que torna mínima a soma dos quadrados das distâncias da reta aos pontos experimentais [23].

$$Y = AX + B \qquad (4.1)$$

Onde:

Y = % da tensão nominal (VN)

X = % probabilidade normalizada

A e B = coeficientes

Com a equação da reta em mãos define-se a porcentagem de segurança em que se deseja trabalhar, calcula-se o valor e traça-se a curva que é objetivo deste ensaio.

A título de ilustração, foi preenchida, de forma hipotética, a ficha de teste-laboratório, apresentada na tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Valores do teste hipotético

Duração = 6 (ciclos)																	
Teste	Magnitude da Depressão de Tensão (%VN)																
Nº	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Observa-se, claramente, na tabela 4.4 a existência de três faixas:

- de 70% a 90% de VN, 100% da depressões de tensão não ocasionam problemas;
- de 40% a 65% de VN, é a faixa de transição;
- de 10 a 40% de VN, todas as depressões de tensão ocasionam problemas.

Após determinada a faixa de transição da tabela 4.4, normalizam-se os resultados segundo a tabela de distribuição normal padronizada (anexo 2) e obtém-se a tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Resultados Normalizadas

% VN	65	60	55	50	45	40
% Casos	10	30	40	60	70	90
%normalizada	-1.28	-0.52	-0.25	0.26	0.53	1.29

Através dos dados apresentados na tabela 4.5, traça-se a equação da melhor reta (4.2), tendo como referências: a probabilidade no eixo y e a % tensão nominal no eixo x:

$$\%VN = -10{,}3608X + 52{,}5518 \qquad (4.2)$$

Após encontrada a equação da melhor reta, deve-se obter as barras de incerteza de cada ponto, através da curva de intervalos de confiança, apresentada no anexo 2, construindo-se a tabela 4.6. Para a construção considerou-se que o número de amostras é 10 (n=10) e que a freqüência de ocorrência corresponde à porcentagem de testes em que o equipamento apresentou problemas.

Tabela 4.6 - Barras de Incerteza

Depressão de Tensão	65%		60%		55%		50%		45%		40	
Barras de Incerteza	0%	44%	9%	63%	15%	70%	29%	85%	37%	91%	57%	99%

A seguir, pode ser traçado o gráfico da figura 4.11, que representa a probabilidade pela porcentagem da tensão nominal (%VN).

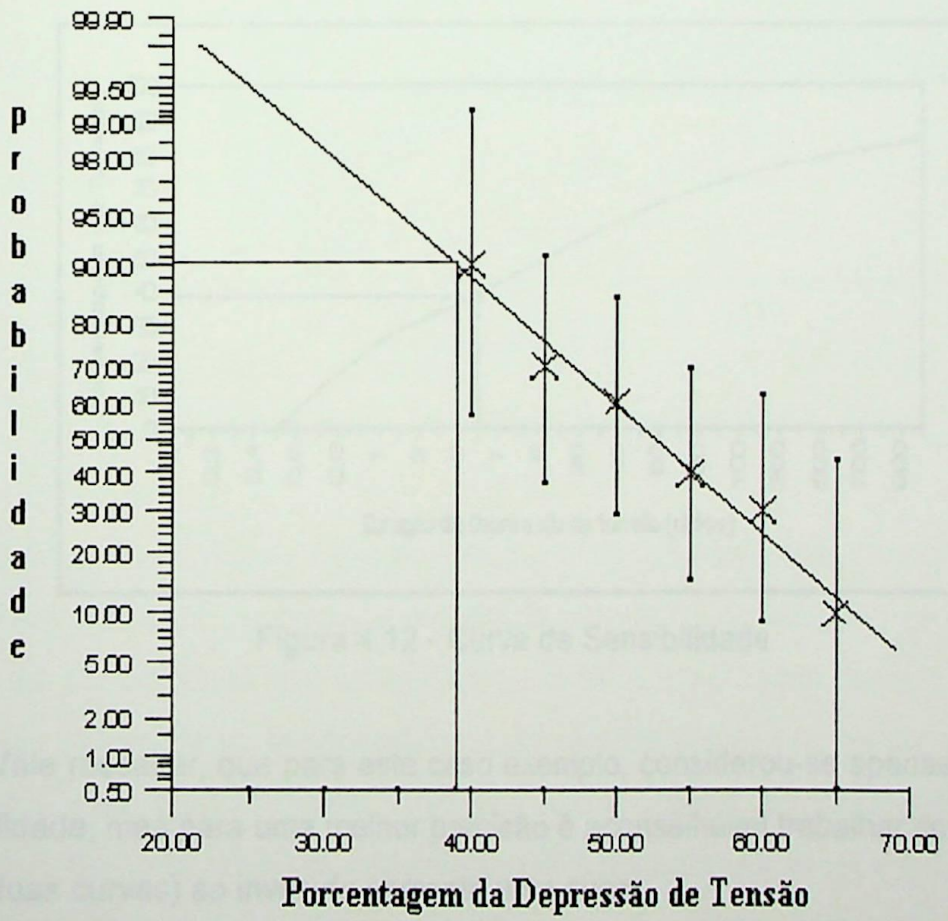


Figura 4.11 - Barras de Incerteza

Marcando-se na figura 4.11 a probabilidade para 90% de confiança, tem-se, que o valor para porcentagem da depressão de tensão nominal é, de aproximadamente, 39%. Este valor também pode ser obtido através da equação (4.2), atribuindo a X o valor de 1,29; portanto, pode-se garantir que a incidência de depressão de tensão possuindo uma duração de 6 ciclos e magnitudes de 39%, 90% dos equipamentos apresentarão problemas.

Nos casos em que se necessite de resultados mais precisos, basta aplicar valores menores de %VN na equação, ou obtê-los graficamente a partir da figura 4.11.

Repetindo-se o mesmo processo, para cada duração da depressão de tensão aplicada, será possível montar uma tabela - duração versus magnitude da depressão de tensão - a qual será representativa da curva de sensibilidade do equipamento testado. A figura 4.12 apresenta o primeiro ponto da curva de sensibilidade a ser obtida para o equipamento hipotético, ou seja, 39% de tensão com duração de 6 ciclos.

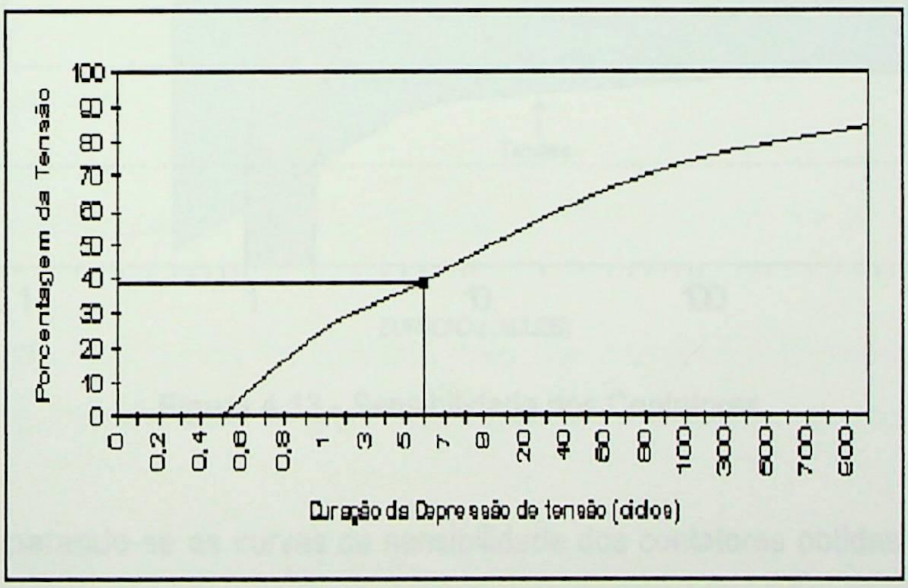


Figura 4.12 - Curva de Sensibilidade

Vale ressaltar, que para este caso exemplo, considerou-se apenas a curva de sensibilidade, mas para uma melhor precisão é aconselhável trabalhar com uma área (entre duas curvas) ao invés de somente uma curva.

4.5 - Exemplo de Aplicação

O exemplo de aplicação consistiu no levantamento da sensibilidade de quatro contatores da marca SIEMENS, modelo 3TA63 08 - 0A, de tensão nominal de 220 [V]. Para os testes foi utilizado um gerador de depressão de tensão desenvolvido na EFEI, o qual se encontra apresentado no anexo 3 desta dissertação.

Realizando as etapas previstas na metodologia apresentada no item 4.4, foi possível o levantamento da faixa de sensibilidade para os contatores testados, a qual se encontra apresentada na figura 4.13. É importante salientar que, todos os cálculos realizados para a determinação desta curva de sensibilidade se encontram apresentados no anexo 4.

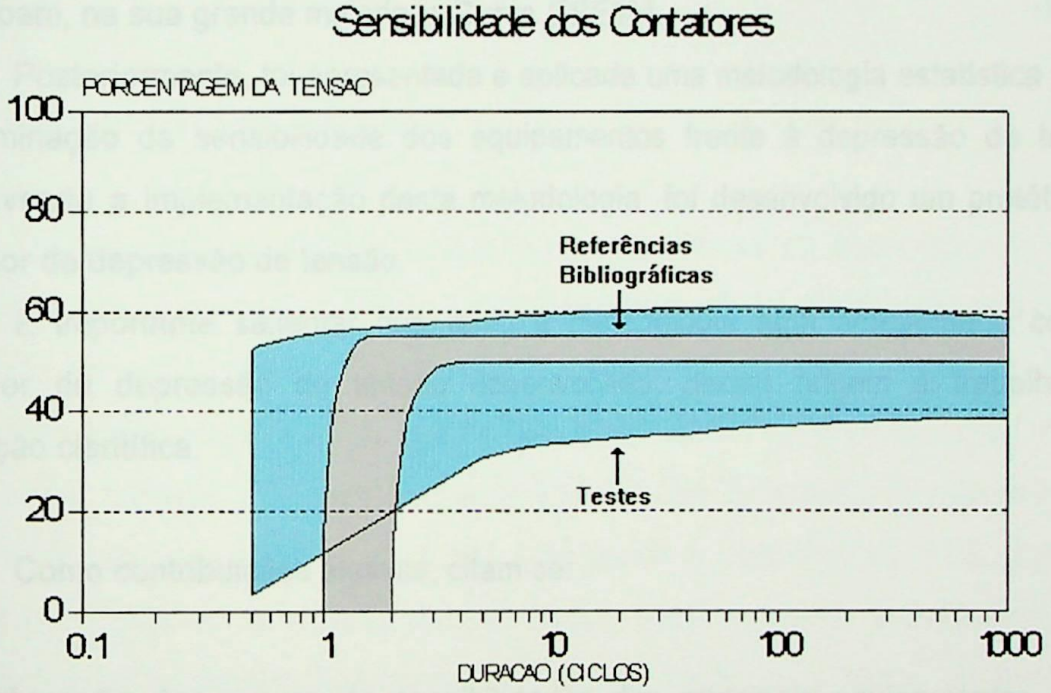


Figura 4.13 - Sensibilidade dos Contatores

Comparando-se as curvas de sensibilidade dos contatores obtidas através de referências bibliográficas com aquelas obtida através de testes, pode-se concluir que a faixa de sensibilidade dos contatores testados é mais ampla do que a faixa dos contatores estrangeiros, muito embora o número de contatores testados tenha sido restrito, ou seja, apenas quatro. O ideal é que o número de contatores fosse bem superior. Entretanto, pode-se conclui-se que a metodologia proposta, bem como a gerador de depressão de tensão desenvolvido, cumpriram com sucesso os seus objetivos.

4.6 - Considerações Finais

Apresentou-se inicialmente, neste capítulo, a Curva *CBEMA*, destacando-se a sua origem bem como as suas divisões características, associadas aos principais distúrbios da QEE. A seguir, foi realizado o levantamento da sensibilidade de alguns dos principais equipamentos eletro-eletrônicos (*CLP's, ASD's*, contatores, relés auxiliares, etc.) frente à depressão de tensão, construindo as suas respectivas curvas, as quais foram obtidas através de referências bibliográficas.

Comparando as curvas de sensibilidade obtidas com a Curva *CBEMA*, pode-se observar que a faixa de sensibilidade dos equipamentos eletro-eletrônicos englobam, na sua grande maioria, a Curva *CBEMA*.

Posteriormente, foi apresentada e aplicada uma metodologia estatística para a determinação da sensibilidade dos equipamentos frente à depressão de tensão. Objetivando a implementação desta metodologia, foi desenvolvido um protótipo de gerador de depressão de tensão.

É importante salientar que tanto a metodologia aqui apresentada como o gerador de depressão de tensão desenvolvido, deram origem à trabalhos de iniciação científica.

Como contribuições efetivas, citam-se:

- a obtenção das curvas de sensibilidades dos principais equipamentos eletro-eletrônicos frente à depressão de tensão, a partir de referências bibliográficas;

- a apresentação de uma metodologia estatística, que se mostrou eficiente para a determinação da sensibilidade dos equipamentos eletro-eletrônicos;

- o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo, constituído de dispositivos simples e capaz de gerar a depressão de tensão.

CAPÍTULO V

Determinação do Impacto da Depressão de Tensão

5.1 - Considerações Iniciais

Os prejuízos econômicos associados à ocorrência da depressão de tensão são elevados; segundo o "The Wall Street Journal", os EUA têm apresentado prejuízos anuais da ordem de dezenas de bilhões de dólares, em decorrência de falhas em equipamentos eletro-eletrônicos. No Brasil, o cenário não é diferente e tende-se a agravar, uma vez que as indústrias têm investido em automatização. Estima-se que, no Brasil, os prejuízos associados a distúrbios da QEE, sejam da ordem de 2 bilhões de dólares anuais. Dentro deste contexto, a determinação do impacto causado pela incidência deste distúrbio sobre os diversos equipamentos eletro-eletrônicos, representa um grande passo na tentativa de minimizar estes prejuízos. Portanto, conhecendo o impacto sobre os equipamentos e processos, medidas preventivas e corretivas podem ser adotadas. Neste sentido, este capítulo tem como principais objetivos:

- apresentar e aplicar uma metodologia para a determinação do impacto da depressão de tensão sobre os equipamentos eletro-eletrônicos;
- apresentar as principais medidas preventivas e corretivas que podem ser adotadas.

5.2 - Metodologia para a Determinação do Impacto da Depressão de Tensão

A metodologia a ser apresentada é simples, eficiente e capaz de determinar o impacto ocasionado pela depressão de tensão. Esta metodologia está fundamentada em dois passos básicos: **levantamento das características da depressão de tensão que incidirão sobre o consumidor e determinação do impacto sobre equipamentos e processos.**

5.2.1 - Levantamento das Características da Depressão de Tensão

A depressão de tensão é definida através de três características: magnitude, duração e taxa de ocorrência. Para determinação destas características podem ser utilizados dois métodos: **medição ou simulação**.

a) Medição

A medição da depressão de tensão consiste, basicamente, na monitorização do sistema elétrico junto ao consumidor. Em complemento, a medição também poderá ser estendida ao sistema de distribuição e transmissão. Esta monitorização é dividida em três fases:

- seleção dos monitores;
- monitorização;
- apresentação dos dados obtidos.

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca
MAUÁ
BIM

a.1) Seleção dos Monitores

Para a seleção do equipamento mais adequado para executar a monitorização da depressão de tensão, é de fundamental importância, que o monitor escolhido, seja capaz de registrar distúrbios de tensão com durações compreendendo a faixa entre 0,5 ciclo a 1 minuto, e também registre a depressão de tensão de 0,1 a 0.9 [p.u.] que representa a faixa de magnitude e duração típicas da depressão de tensão.

Com o objetivo de otimizar a monitorização e facilitar a análise dos dados obtidos, é aconselhável que o monitor possua:

- bateria auxiliar ou retomada automática da monitorização após uma falha de energia;
- registro de dados em disquetes e fácil acesso aos dados gravados.

Vale ressaltar que, atualmente, existem no mercado, empresas especializadas na fabricação de equipamentos destinados a monitorização da QEE.

a.2) Monitorização

Para a monitorização propriamente dita, inicialmente, deve-se definir o local onde serão instalados os monitores e também o período de monitorização. Neste sentido, é aconselhável que os monitores sejam instalados o mais próximo possível das cargas sensíveis, ou seja, nas indústrias, mas também podem ser instalados, concomitantemente, no sistema de distribuição e transmissão. É sugerido que estes equipamentos realizem monitorização por um período de um mês a um ano, dependendo dos objetivos da monitorização.

a.3) Apresentação dos Dados

Os monitores deverão registrar os dados de todas as ocorrências de depressão de tensão, apresentando o dia, horário, bem como a sua magnitude e duração.

b) Simulação

Algumas referências [13] [14] e [24] apresentam métodos de predição das características da depressão de tensão - magnitude, duração e taxa de ocorrência - baseados na análise de curtos-circuitos do sistema elétrico, uma vez que, a principal causa da depressão de tensão é a ocorrência destes distúrbios.

Considerando este fato, os programas de simulação computacional utilizados nas referências citadas, são baseados no cálculo dos valores das tensões pós-falta, em vários pontos do sistema elétrico, em decorrência de curtos-circuitos trifásicos, fase-fase, fase-fase-terra e fase-terra, utilizando o "Método dos Componentes Simétricos". Para execução dos cálculos é necessário que, inicialmente, se obtenham os diagramas unifilares e de impedâncias (seqüência positiva, seqüência

negativa e seqüência zero) do sistema elétrico a ser estudado. Posteriormente, deve-se escolher o ponto de observação que, normalmente, o barramento de entrada de uma determinada indústria ou o barramento de alimentação de uma carga sensível. Finalmente, a partir destes dados, pode-se realizar simulações computacionais com vistas a calcular a depressão de tensão. É importante ressaltar que estas simulações podem ser realizadas através de programas convencionais de curto-circuito, associados a dados de confiabilidade, ou seja, taxa de falha dos equipamentos elétricos e linhas de transmissão. A magnitude da depressão de tensão está associada à localização da falta, tipo de falta, impedância de falta, conexão dos transformadores e da tensão pré falta; a duração está relacionada com o tempo de atuação do sistema de proteção; a taxa de ocorrência está associada, fundamentalmente, à taxa de falha das linhas de transmissão, que são os componentes mais expostos do sistema elétrico.

c) Tratamento dos Dados Obtidos

Após realizado o levantamento das características da depressão de tensão, seja por medição ou simulação, é aconselhável a construção de um gráfico tridimensional que contenha a magnitude, a duração e a taxa de ocorrência da depressão de tensão por ano ou por mês. A figura 5.1 ilustra o gráfico tridimensional de uma monitorização típica cuja representação, tanto da magnitude como da duração, é feita através de faixas.

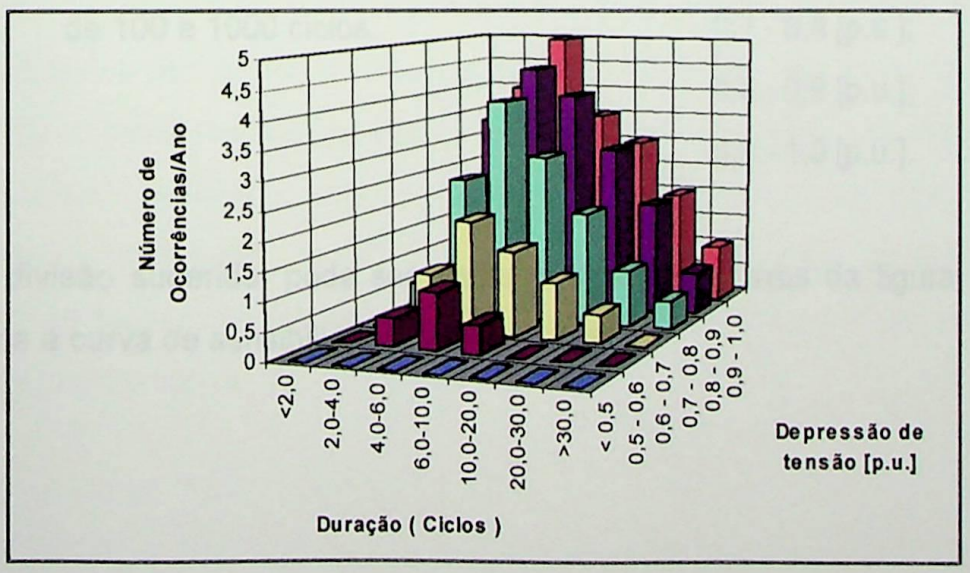


Figura 5.1 - Ocorrências de Depressão de Tensão

5.2.2 - Impacto da Depressão de Tensão

Para a determinação do impacto da depressão de tensão sobre os equipamentos, é necessário que se conheça a curva de sensibilidade do equipamento e também as características - magnitude, duração e taxa de ocorrência - deste distúrbio. O levantamento da curva de sensibilidade dos equipamentos eletro-eletrônicos pode ser realizado através de três formas: testes, consultas a fornecedores ou pesquisas bibliográficas.

Já no caso do levantamento das características deste distúrbio, é sugerido que se utilize um dos procedimentos adotados na metodologia apresentada neste capítulo, ou seja, medição ou simulação. Após a realização do levantamento dos dados sobre a sensibilidade dos equipamentos e das características da depressão de tensão, pode-se calcular o impacto propriamente dito. A determinação do impacto está estruturada na confrontação das informações anteriormente obtidas.

Inicialmente, deve-se dividir a curva de sensibilidade do equipamento sob análise em função da magnitude e duração. Esta divisão deve ser executada de uma forma conveniente e, como sugestão, podem ser utilizadas as faixas de magnitude e duração apresentadas a seguir:

Duração	Magnitude
de 0 a 1 ciclo;	< 0,5 [p.u.];
de 1 a 10 ciclos;	0,5 - 0,6 [p.u.];
de 10 a 100 ciclos;	0,6 - 0,7 [p.u.];
de 100 a 1000 ciclos.	0,7 - 0,8 [p.u.];
	0,8 - 0,9 [p.u.];
	0,9 - 1,0 [p.u.].

A divisão sugerida, pode ser melhor visualizada através da figura 5.2, que representa a curva de sensibilidade típica dos *ASD's*.

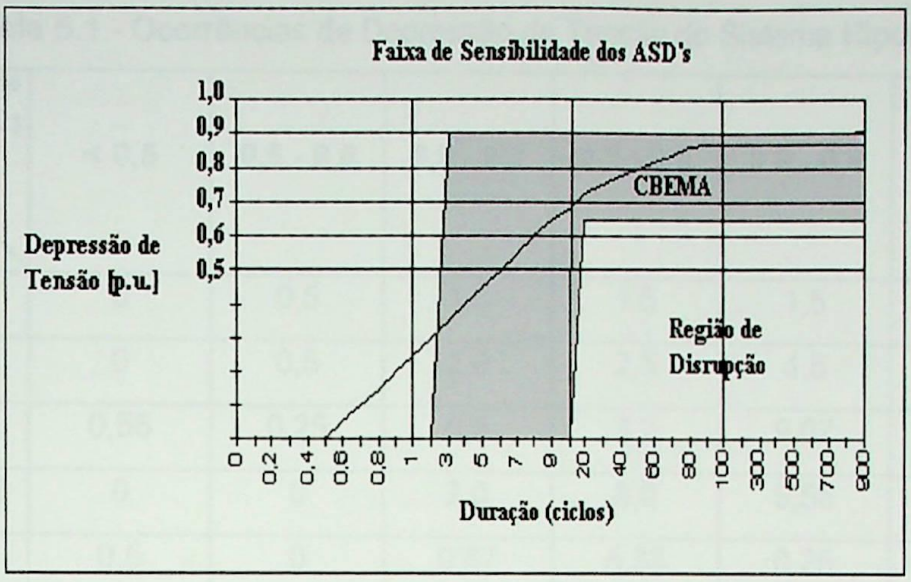


Figura 5.2 - Faixa de Sensibilidade dos *ASD's*

Com base na figura gerada, determina-se o impacto da depressão de tensão sobre os equipamentos, através da contabilização das taxas de ocorrência de depressão de tensão situadas dentro e abaixo da curva de sensibilidade.

5.2.3 - Exemplo de Aplicação

Este exemplo de aplicação consistiu, inicialmente, no levantamento da taxa de ocorrência da depressão de tensão através de referências bibliográficas [7], [10],e [25]. A partir deste levantamento, obteve-se um banco de dados da taxa de ocorrência, em função da magnitude e duração da depressão de tensão adotando-se, como base, o período de monitorização de um ano, para três sistemas elétricos distintos Com base nos dados destas referências bibliográficas, idealizou-se um sistema elétrico hipotético, cujas incidências e características da depressão de tensão são apresentadas na tabela 5.1. Esta tabela apresenta 75 registros de depressão de tensão, correspondente à soma das ocorrências, por um período de um ano de monitorização, nos três locais.

Tabela 5.1 - Ocorrências de Depressão de Tensão do Sistema Hipotético

Magnitude [p.u.] / Duração (Ciclos)	< 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
< 3,0	0	0,5	1,0	1,5	1,5	2,0
3,0 - 6,0	0	0,5	2,0	2,5	4,5	7,0
6,0 - 9,0	0,55	0,25	0,5	3,2	9,67	8,17
9,0 - 20,0	0	0	2,0	8,0	9,58	3,33
> 20,0	0,5	0	0,67	5,33	0,25	0

Objetivando uma melhor visualização dos dados, a tabela 5.1 foi convertida em um gráfico tridimensional representado através da figura 5.3. Este gráfico apresenta a taxa de ocorrência da depressão de tensão em função da magnitude e duração.

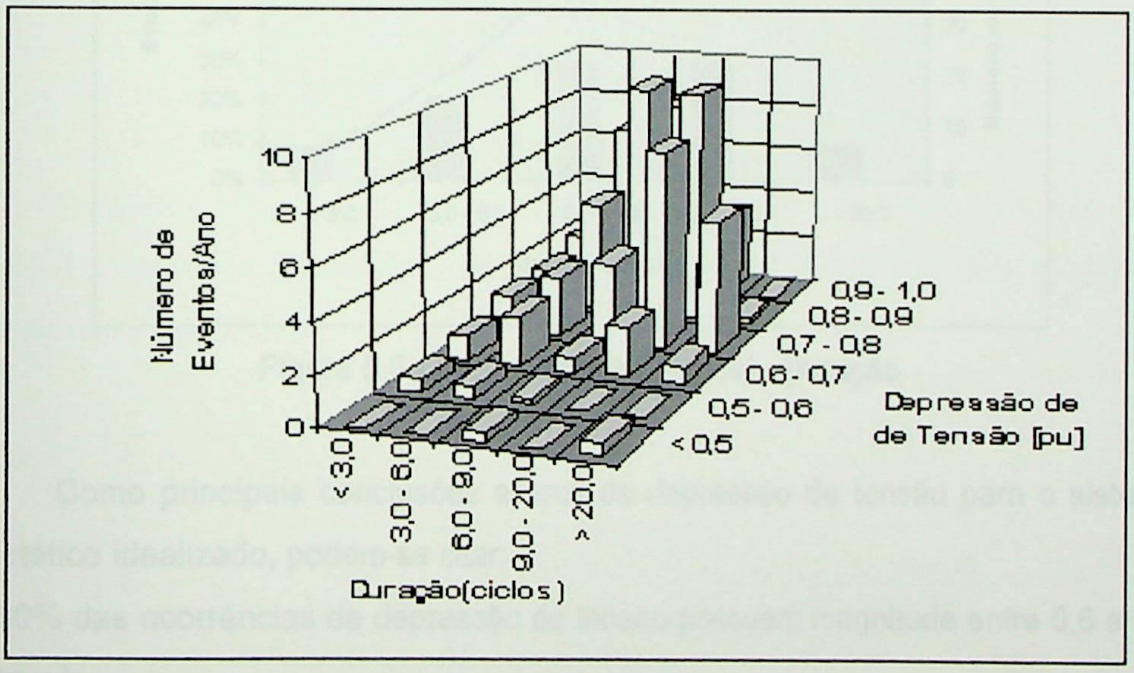


Figura 5.3 - Gráfico das Características da Depressão de Tensão

A partir do gráfico da figura 5.3, foram determinadas as probabilidades marginais da taxa de ocorrência da depressão de tensão em função da magnitude e duração, como representado nas figuras 5.4 e 5.5. Vale ressaltar, que as projeções obtidas, não podem ser adotadas como dados típicos para qualquer sistema, e para fins desta dissertação, representa um sistema hipotético.

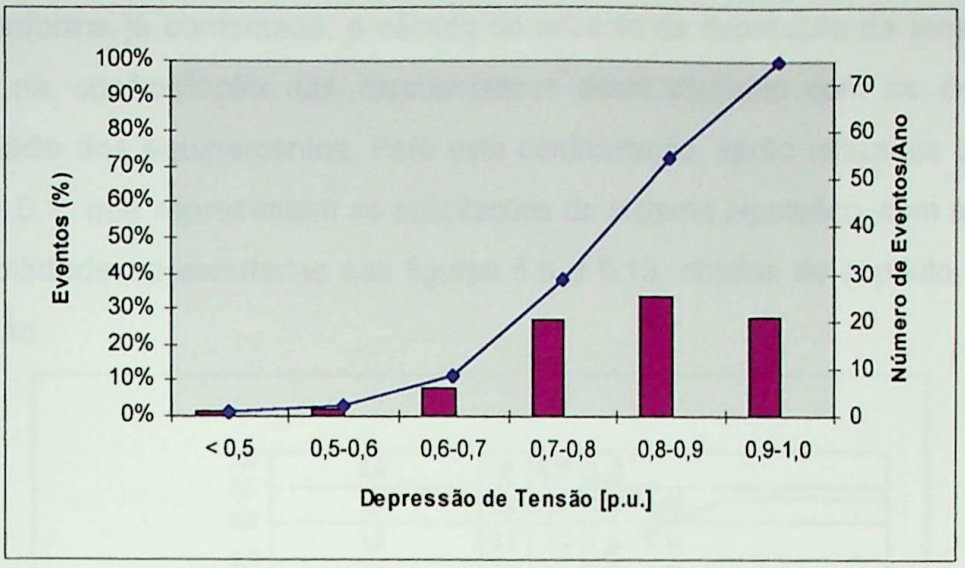


Figura 5.4 - Probabilidade Marginal - Magnitude

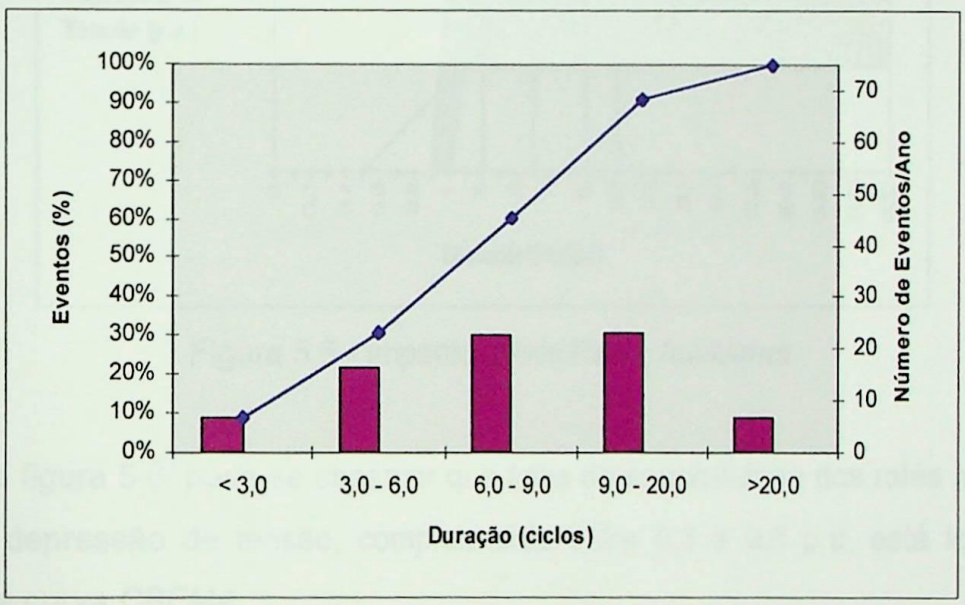


Figura 5.5 - Probabilidade Marginal - Duração

Como principais conclusões acerca da depressão de tensão para o sistema hipotético idealizado, podem-se citar:

- 60% das ocorrências da depressão de tensão possuem magnitude entre 0,6 e 0,9 [p.u.];
- 30 % das ocorrências são subtensões com magnitudes de 0,9 a 1,0 [p.u.] e não são classificadas como depressão de tensão;
- 10% possuem magnitudes menores que 0,6 [p.u.];
- 60% das ocorrências possuem duração entre 6 e 20 ciclos;
- 10% maior que 20 ciclos;
- 30% menor que 6 ciclos.

Conforme já comentado, o cálculo do impacto da depressão de tensão, está baseado na confrontação das características deste distúrbio com as curvas de sensibilidade dos equipamentos. Para esta confrontação, serão utilizados os dados da tabela 5.1, que representam as solicitações do sistema hipotético, com as curvas de sensibilidade apresentadas nas figuras 5.6 a 5.13, obtidas do capítulo IV desta dissertação.

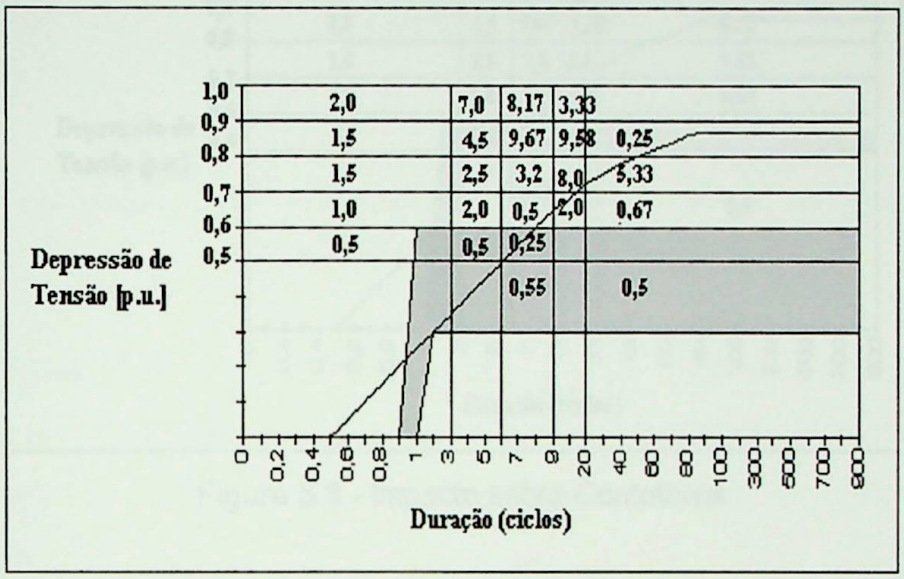


Figura 5.6 - Impacto sobre Relés Auxiliares

Na figura 5.6, pode-se observar que faixa de sensibilidade dos relés auxiliares frente à depressão de tensão, compreendida entre 0,3 a 0,6 p.u, está localizada abaixo da curva *CBEMA*.

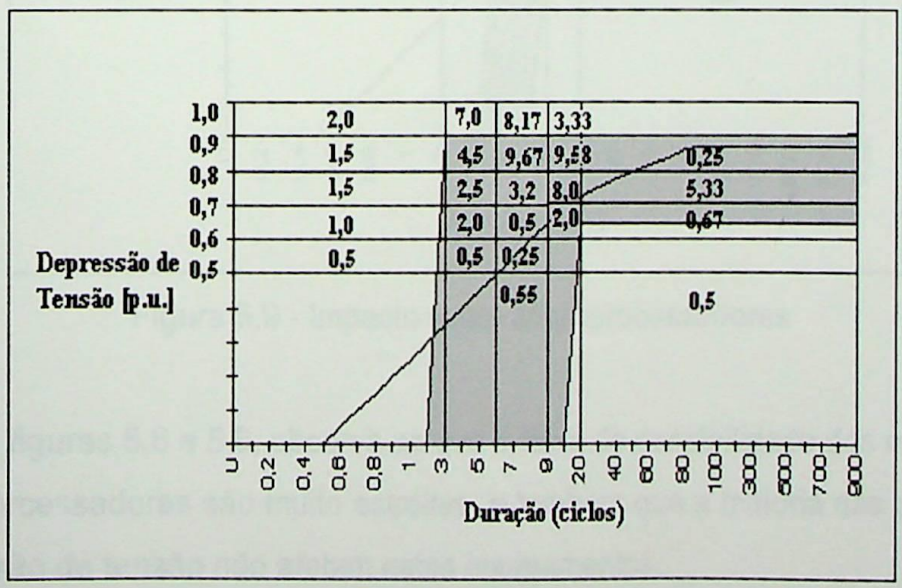


Figura 5.7 - Impacto sobre *ASD's*

Através da análise da figura 5.7, pode ser observado que a faixa de sensibilidade dos *ASD´s* frente a depressão de tensão é muito grande, englobando a curva *CBEMA*.

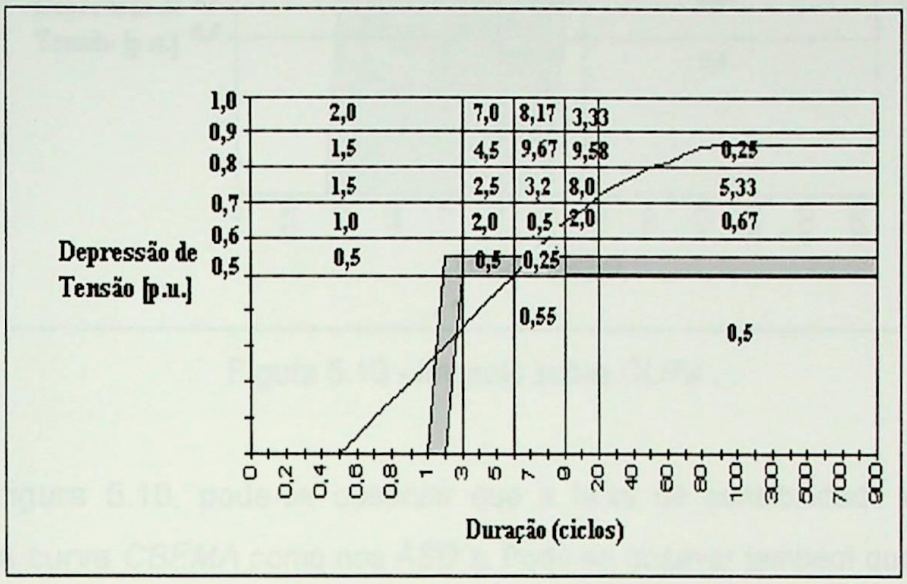


Figura 5.8 - Impacto sobre Contatores

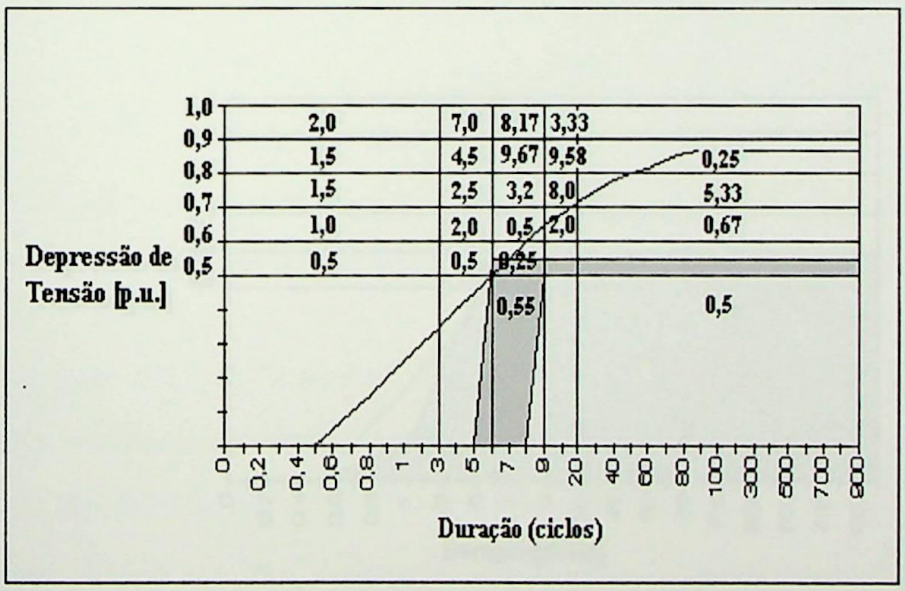


Figura 5.9 - Impacto sobre Microprocessadores

Nas figuras 5.8 e 5.9, observa-se que a faixa de sensibilidade dos contatores e dos microprcessadores são muito estreitas, e também que a maioria das ocorrências de depressão de tensão não afetam estes equipamentos.

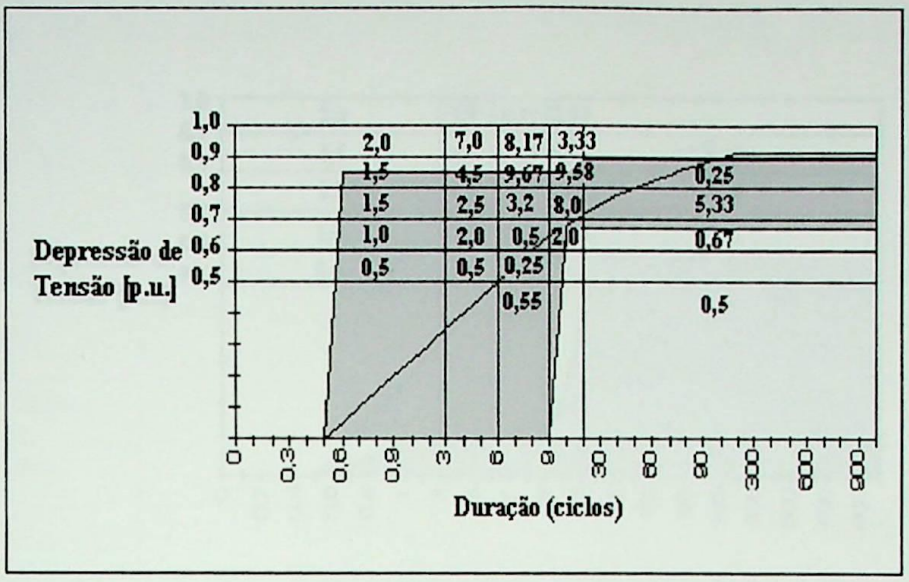


Figura 5.10 - Impacto sobre *CLP's*

Na figura 5.10, pode-se observar que a faixa de sensibilidade dos CLP´s englobam a curva *CBEMA* como nos *ASD´s.* Pode-se obsevar também que a maioria das ocorrências de depressão de tensão afetam a correta operação deste equipamento.

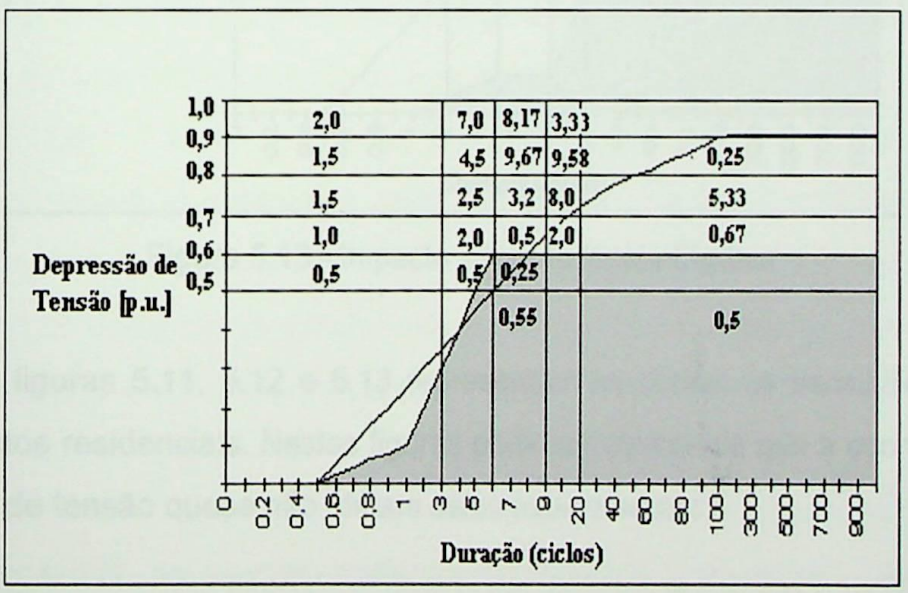


Figura 5.11 - Impacto sobre Vídeos

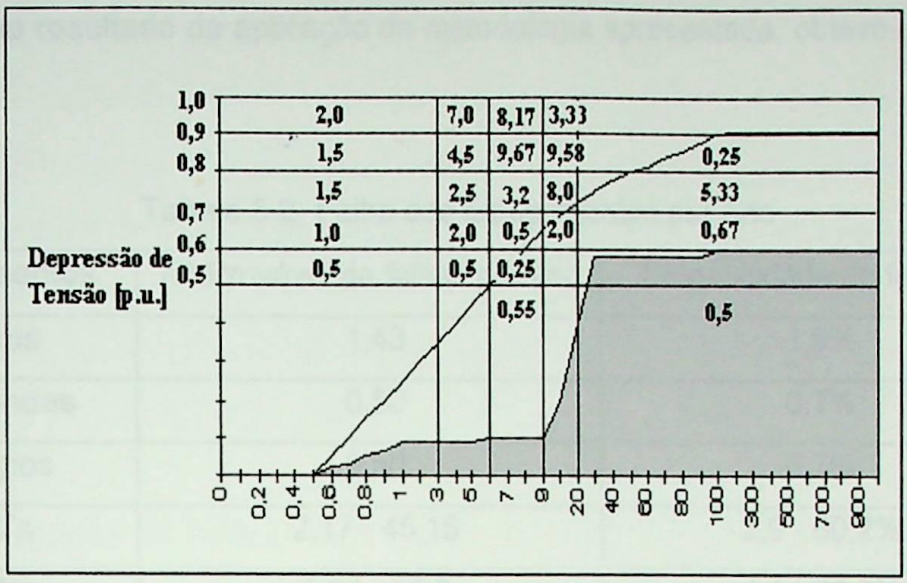


Figura 5.12 - Impacto sobre Microondas

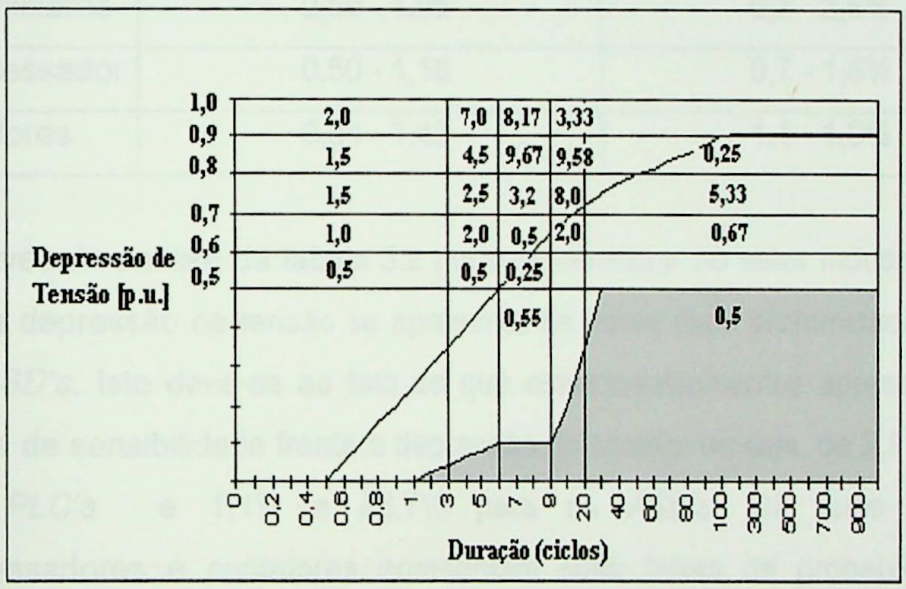


Figura 5.13 - Impacto sobre Relógios Digitais

Nas figuras 5.11, 5.12 e 5.13 representam as curvas de sensibilidades dos equipamentos residenciais. Nestas figuras pode ser observado que a ocorrências de depressão de tensão quase não afetam estes equipamentos.

Como resultado da aplicação da metodologia apresentada, obteve-se a tabela 5.2.

Tabela 5.2- Falha dos Equipamentos por Ano

Equipamentos	N° Provável de falhas por ano	Probabilidade de falha(%)
Vídeos	1,43	1,9%
Microondas	0,50	0,7%
Relógios	0,50	0,7%
PLC's	2,17 - 45,15	2,9 - 60,2%
ASD's	0,84 - 50,0	1,1 - 66,7%
Relés Auxiliares	0,50 - 1,95	0,7 - 2,6%
Microprocessador	0,50 - 1,18	0,7 - 1,6%
Contatores	0,84 - 1,43	1,1 - 1,9%

Através da análise da tabela 5.2 pode-se constatar no setor industrial, que, o impacto da depressão de tensão se apresenta de forma mais pronunciada sobre os *PLC's* e *ASD's*. Isto deve-se ao fato de que estes equipamentos apresentam uma ampla faixa de sensibilidade frente à depressão de tensão, ou seja, de 2,9% a 60,2% para os *PLC's* e 1,1% a 66,7% para os *ASD's*. Os relés auxiliares, microprocessadores e contatores apresentam suas faixas de probabilidades de falhas equivalentes, isto é, de 0,7% a 2,6%. Portanto, pode-se concluir que os *PLC's* e *ASD's* são os equipamentos mais vulneráveis, pois a maior probabilidade de falha (60,2% a 66,7%) é bem superior a maior probabilidade dos outros equipamentos (1,6% a 2,6%)

Já no setor doméstico, contatou-se que os videocassetes são os equipamentos que apresentam maior vulnerabilidade. Os relógios digitais e os microondas apresentaram probabilidade de falha equivalentes.

A partir da determinação do impacto da depressão de tensão, medidas preventivas e corretivas podem ser adotadas, com o objetivo de minimizar os prejuízos associados à ocorrência deste distúrbio. Neste sentido, os itens subseqüentes, apresentam as principais medidas preventivas e corretivas que podem ser adotadas.

5.3 - Medidas Preventivas

A minimização dos prejuízos associados à depressão de tensão pode ser realizada através da adoção de medidas preventivas. Estas medidas estão baseadas no combate as causas e origens deste distúrbio. Neste sentido, nos itens subsequentes, serão apresentadas as principais medidas preventivas que podem ser adotadas [7], [10], [19], [25], e [26].

5.3.1 - Prevenção de Faltas

A prevenção das faltas, consiste em um conjunto de medidas, que podem ser adotadas tanto pelas concessionárias como pelos consumidores. Dentre elas, destaca-se:

- Executar a limpeza da faixa de servidão das LT's e realizar a poda das árvores próximas aos ramais de distribuição;

- Melhorar a proteção contra descargas atmosféricas, ou seja, adicionar pára-raios, blindagem de equipamentos, nas LT's e ramais de distribuição;

- Realizar a limpeza (lavagem) das cadeias de isoladores e outras partes isolantes dos equipamentos e subestações;

- Analisar e evitar riscos de contatos de animais em pontos energizados do sistema elétrico;

- Realizar campanhas educativas contra a ocorrência de queimadas, atos de vandalismo, etc;

- Reduzir a resistência do pé da torre das LT's.

5.3.2 - Melhorar a Sensibilidade dos Equipamentos

Atualmente, a maioria dos equipamentos eletro-eletrônicos, são produzidos sem o conhecimento adequado sobre a vulnerabilidade destes equipamentos em relação à depressão de tensão. Sendo assim, melhorar a sensibilidade destes equipamentos significa diminuir a sensibilidade deles frente à depressão de tensão. Esta melhora de sensibilidade ou dessensibilização, pode ser realizada através de pesquisas e desenvolvimentos de novos projetos pelos fabricantes e pelas universidades.

5.3.3 - Parques de Alta Qualidade

No exterior, as concessionárias de energia elétrica, estão reservando áreas de alta qualidade "Parques de Qualidade", com o objetivo de atender consumidores que possuem cargas e processos sensíveis. No Brasil, já iniciam-se estudos por parte das concessionárias para a viabilização deste novo tipo de fornecimento de energia elétrica. Vale ressaltar, que para estas áreas serão feitos contratos especiais com tarifas diferenciadas.

5.3.4 - Especificação dos Equipamentos

A correta especificação dos equipamentos é de grande importância para prevenir os problemas associados à depressão de tensão. Para esta especificação é necessário que o profissional da área de engenharia possua o conhecimento prévio das variáveis que influenciam a depressão de tensão e o impacto deste distúrbio, bem como do processo e do local onde o equipamento será instalado. A partir daí, pode-se especificar o equipamento que melhor se adaptará às condições de operação.

5.4 - Medidas Corretivas

Enquanto que as medidas preventivas, estão baseadas no combate as causas da depressão de tensão, as medidas corretivas visam o combate dos efeitos deste distúrbio. A adoção de medidas corretivas tem, como objetivo, adequar os equipamentos ao nível de qualidade de energia de suprimento. Estas medidas estão associadas ao tipo de consumidor ou carga sensível que se deseje dessensibilizar, como também ao tipo e origem do distúrbio da QEE. A tabela 5.3 obtida de [26], associa as principais medidas corretivas ao tipo e origem da depressão de tensão.

Tabela 5.3- Medidas Corretivas

Origem/ Causa do Distúrbio	**Medidas Corretivas para Concessionárias e Consumidores**
Falhas remotas no sistema	• Alteração das práticas de proteção; • Modernização da filosofia e instrumental de proteção; • Instalação de reguladores rápidos de tensão; • Instalação de *UPS* estáticos e rotativos; • Instalação de dispositivos de armazenamento de energia (supercondutores magnéticos); • Transferência automática de barras; • Atuação na sensibilidade da carga.
Partida de grandes motores	• Utilização de partida compensada, conversores de freqüência, etc; • Atuação na sensibilidade da carga.
Saída de geração, entrada de grandes blocos de carga e perda de interligações	• Utilização de reguladores rápidos de tensão; • Transferência automática da barras; • Atuação na sensibilidade da carga.

Dentre as medidas corretivas apresentadas na tabela 5.3, existem algumas que já possuem disseminada, a sua aplicação, enquanto que outras estão em fase de pesquisas. Considerando-se este fato, nos itens subseqüentes serão apresentadas, de forma sucinta, algumas destas principais medidas.

5.4.1 - Alteração das Práticas de Proteção

Desde que, o relato de problemas associados aos distúrbios da QEE, em especial à ocorrência da depressão de tensão, são recentes, a interrupção de processos industriais pode ser devido à práticas de proteção que não levam em consideração este distúrbio. Em muitos casos, as cargas sensibilizadas que iniciam e desencadeiam a interrupção de equipamentos, partes do processo ou até mesmo de todo o processo industrial, nem são as cargas prioritárias ou mais importantes. Através do conhecimento prévio das características da depressão de tensão - magnitude, duração e taxa de ocorrência - pode-se ajustar, adequadamente, as proteções de subtensão de modo que estas não sejam sensibilizadas para este distúrbio, em especial; não causem prejuízo para a integridade do equipamento ou para o processo industrial. Estas medidas devem ser acompanhadas de outras semelhantes, como por exemplo, a dessensibilização das bobinas de contatores e relés auxiliares. [26]

5.4.2 - Modernização da Filosofia e do Instrumental de Proteção

Atualmente, com o aparecimento e a disseminação de reles microprocessados de última geração, a adoção de novas filosofias já é uma realidade em muitos sistemas elétricos, tanto nas indústrias como em concessionárias. A utilização do recurso de seletividade lógica, por exemplo, tem, como resultado uma considerável redução no tempo de eliminação de faltas e, por conseguinte, redução da duração da depressão de tensão. Além disso, estes novos relés possuem grande capacidade de comunicação, o que permite a inovação de recursos na filosofia geral de proteção, otimizando a identificação de defeitos, diminuindo o tempo de eliminação e interrupção de faltas em sistemas elétricos de distribuição [26].

5.4.3 - Transferência de Barras

Se a instalação pode ser equipada com dois alimentadores provenientes de fontes independentes, um adequado fornecimento de energia pode ser obtido utilizando-se o chaveamento estático. A transferência pode ocorrer automaticamente para suprir cargas sensíveis, como computadores , quando uma das fontes é desligada, subitamente. O tempo total de dessensibilização e transferência é de cerca de 1/4 de ciclo e a carga não será afetada pelo distúrbio [26].

5.4.4 - Sistema de Alimentação Ininterruptos (*UPS* - estático)

Os sistemas de alimentação ininterruptos (*UPS*), vêm sendo empregados com sucesso, para alimentação de cargas críticas ou essenciais, como por exemplo: PLC's, ASD's, computadores, etc.

Os *UPS*, geralmente, são baseados em retificadores estáticos e inversores, com baterias de armazenamento para alimentar cargas sensíveis durante a ocorrência de uma depressão de tensão. A figura 5.14 apresenta a configuração básica de um *UPS* [7] e [9].

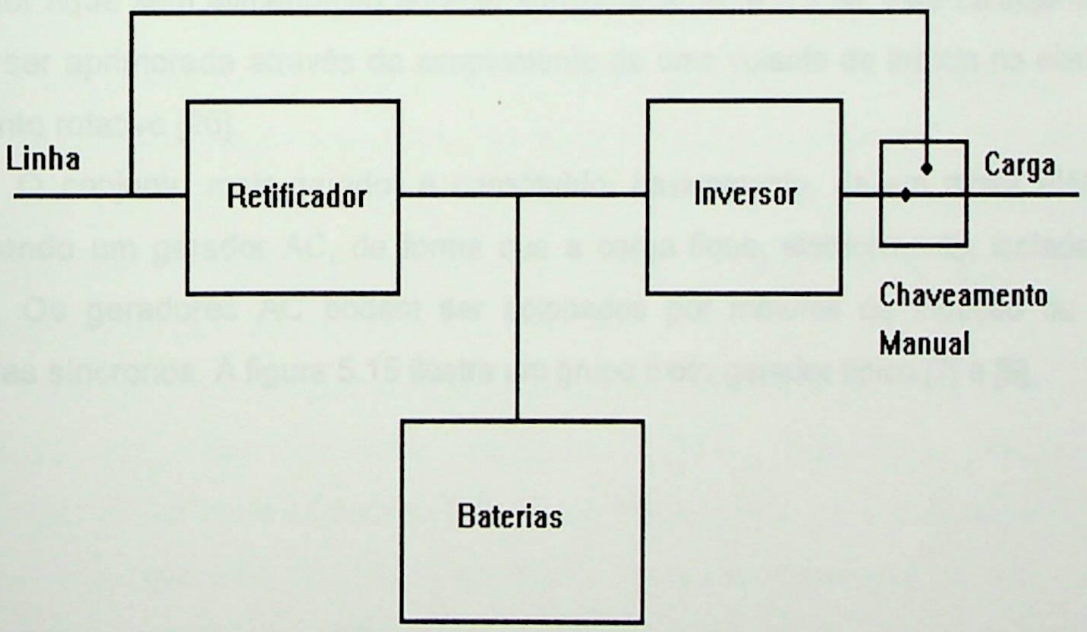


Figura 5.14- *UPS* Estático de Chaveamento Manual

Os *UPS's* são empregados quando se deseja a operação contínua de equipamentos ou processos, que sejam sensíveis a depressão de tensão e a interrupções de energia que duram aproximadamente 0,5 segundos ou mais. Eles podem ser projetados com baterias capazes de fornecer energia com qualidade, independente da fonte de alimentação principal, por um período de até 15 [min]. Existem vários tipos de sistemas *UPS's*, dentre eles destaca-se o *UPS* convencional associado a um grupo motor diesel-gerador. Quando ocorrer uma interrupção do fornecimento de energia, este grupo é acionado para suprir as cargas sensíveis via *UPS.* Vale ressaltar que este tipo de *UPS* é mais caro do que os demais, isto pelo fato de que é necessário um custo para instalação e manutenção do grupo motor diesel-gerador [26].

.

5.4.5 - Grupo Moto-Gerador (*UPS* rotativo)

O grupo moto-gerador também é conhecido como *UPS* rotativo, uma vez que este grupo fornece energia ao sistema quando da ocorrências de distúrbios (depressão de tensão, interrupção, etc.), através do momento de inércia do conjunto rotativo. O momento de inércia do conjunto rotativo permite que o conjunto moto-gerador fique sem alimentação durante aproximadamente 0,3 [s]. Esta característica pode ser aprimorada através do acoplamento de uma volante de inércia no eixo do conjunto rotativo [26].

O conjunto moto-gerador é constituído, basicamente, de um motor elétrico acionando um gerador AC, de forma que a carga fique, eletricamente, isolada da fonte. Os geradores AC podem ser acionados por motores de indução ou por motores síncronos. A figura 5.15 ilustra um grupo moto-gerador típico [7] e [9].

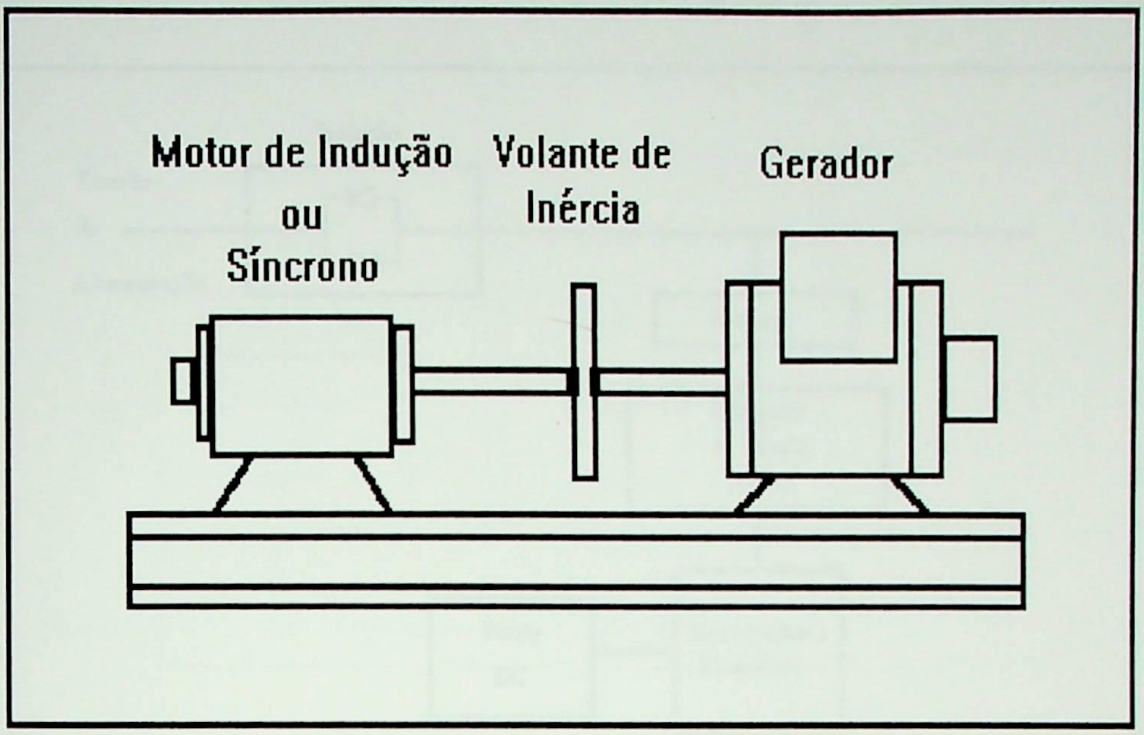


Figura 5.15 - Esquema de um Moto-Gerador

Vale ressaltar que o conjunto moto-gerador possui custo relativamente alto; sendo assim, este equipamento não possui sua aplicação muito difundida.

5.4.6 - Supercondutores Magnéticos de Armazenamento de Energia

Os supercondutores magnéticos de armazenamento de energia (*SMES*) fazem parte de uma tecnologia emergente, os quais possuem características corretivas e funcionais essenciais para a nova realidade experimentada pelas concessionárias. Este dispositivo possui a capacidade de realizar a adaptação dos sistemas das concessionárias para essa nova realidade [27].

Os *SMES* são dispositivos projetados para o armazenamento de energia, baseados em supercondutores magnéticos. Estes dispositivos possuem a capacidade de fornecer energia elétrica às cargas sensíveis, por alguns segundos. A energia é armazenada no campo magnético produzido pela corrente que circula através do supercondutor, refrigerado pelo fluido criogênico. O sistema de potência nominal 1 [MW] é capaz de armazenar uma energia em torno de 0,3 [Kwh] [26].

A grande vantagem do *SMES* sobre os *UPS*, é que este dispositivo possui alta capacidade de armazenamento de energia e é muito menor se comparado a um *UPS* [9] e [28]. A figura 5.16 apresenta o esquema geral de um *SMES*.

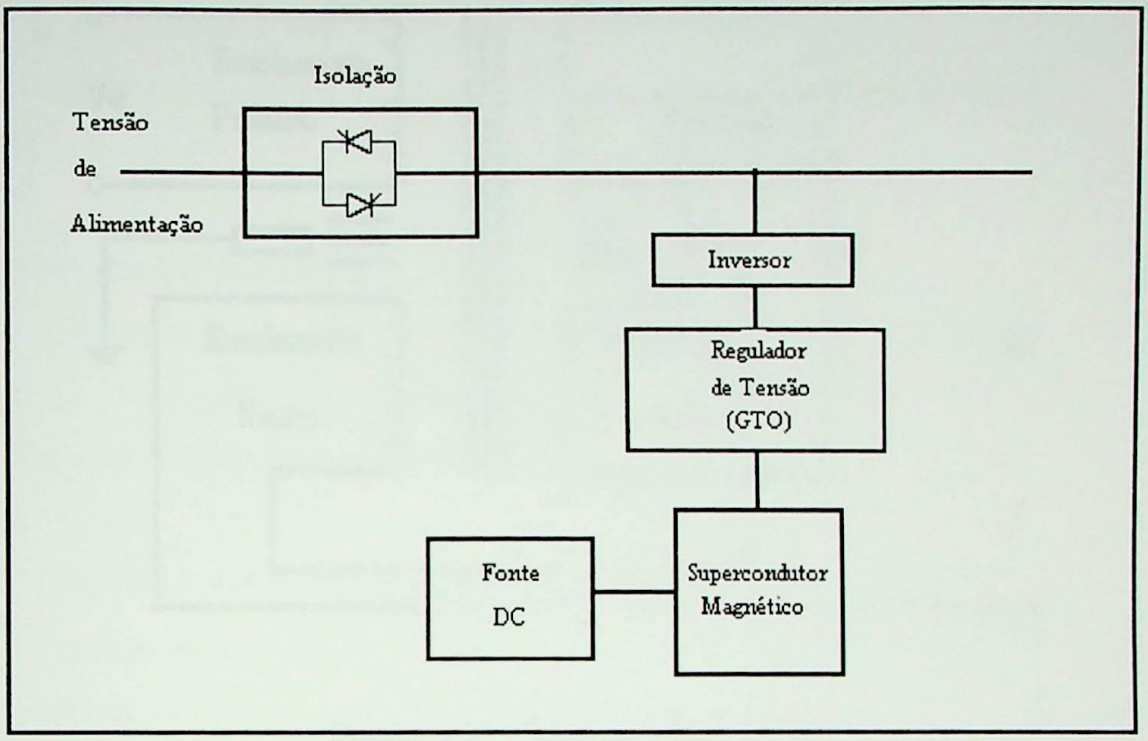


Figura 5.16- Esquema Geral do *SMES*

É importante ressaltar que o *SMES* representa uma nova tecnologia e está em fase de teste, mas possivelmente, poderá se tornar uma solução economicamente viável em futuro breve.

5.4.7 - Transformadores Ferroressonantes:

Os transformadores ferroressonantes, também são conhecidos por transformadores de tensão constante (*CVT*), podem ser aplicados para amenizar os problemas associados à ocorrência da depressão de tensão. Este equipamentos são especialmente utilizados para baixa potências. A figura 5.17 apresenta um circuito típico de um *CVT* [11].

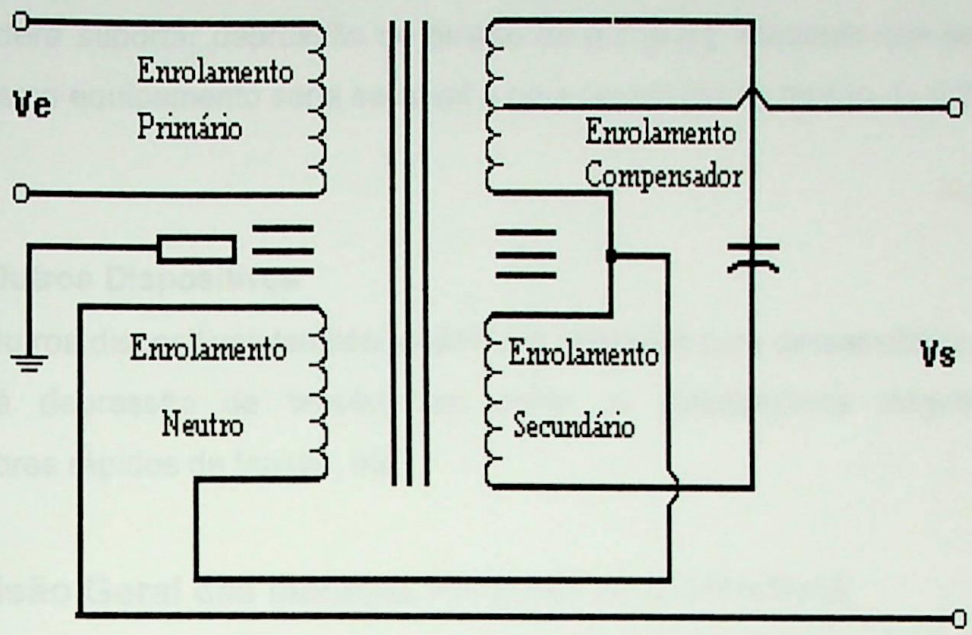


Figura 5.17 - Circuito Típico do *CVT*

Estes transformadores, geralmente, possuem relação de transformação 1:1; sendo assim, fornecem tensão de saída que não é significantemente alterada pelas variações na tensão de entrada.

A figura 5.18 apresenta a dessensibilização de um equipamento industrial alimentado por um *CVT* de 120 [VA] frente à depressão de tensão [9] e [11].

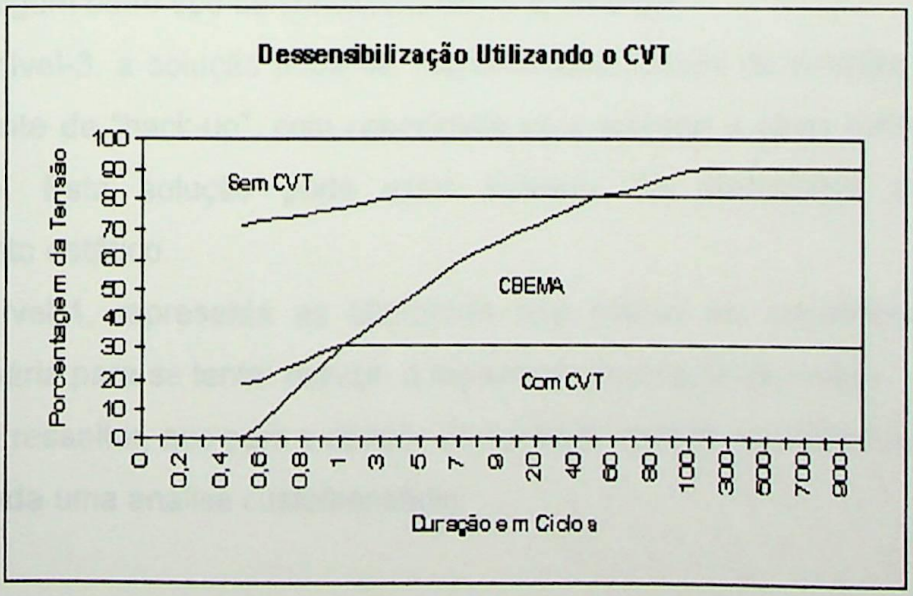


Figura 5.18 - Exemplo de Aplicação do *CVT*

Através da análise da figura 5.18, pode-se observar que o equipamento com *CVT* poderá suportar depressão de tensão de 0,3 [p.u.], enquanto que sem o *CVT* este mesmo equipamento seria sensível a uma depressão de tensão de 0,82 [p.u] [9] e [11].

5.4.8 - Outros Dispositivos

Outros dispositivos também podem ser utilizados para dessensibilizar a carga frente à depressão de tensão, tais como os sintetizadores magnéticos, os reguladores rápidos de tensão, etc.

5.5 - Visão Geral das Medidas Preventivas e Corretivas

Muitas ações podem ser tomadas pelas concessionárias, consumidores e fabricantes, no sentido de reduzir o número e a severidade da depressão de tensão e também melhorar a sensibilidade dos equipamentos frente a este distúrbio da QEE.

A figura 5.19 ilustra possíveis soluções e seus custos relativos. Verifica-se através desta figura, que o custo da dessensibilização é mais barato quanto mais próximo da carga sensível a ação for executada e vice-versa [9].

No nível-1, a solução consiste na especificação adequada dos equipamentos para que estes estejam aptos a suportar a ocorrência da depressão de tensão.

No nível-2, a dessensibilização está baseada na instalação de um sistema de *UPS's* ou algum outro tipo de condicionamento de energia.

No nível-3, a solução pode ser implementada através da conexão de alguns tipos de fonte de "back-up", com capacidade para suportar a carga para o período requisitado. Esta solução pode estar baseada na alimentação dupla com chaveamento estático.

O nível-4, representa as alterações que podem ser implementadas pela concessionária para se tentar reduzir o impacto da depressão de tensão.

Vale ressaltar, que para a adoção de qualquer medida, é necessário que antes seja realizada uma análise custo/benefício.

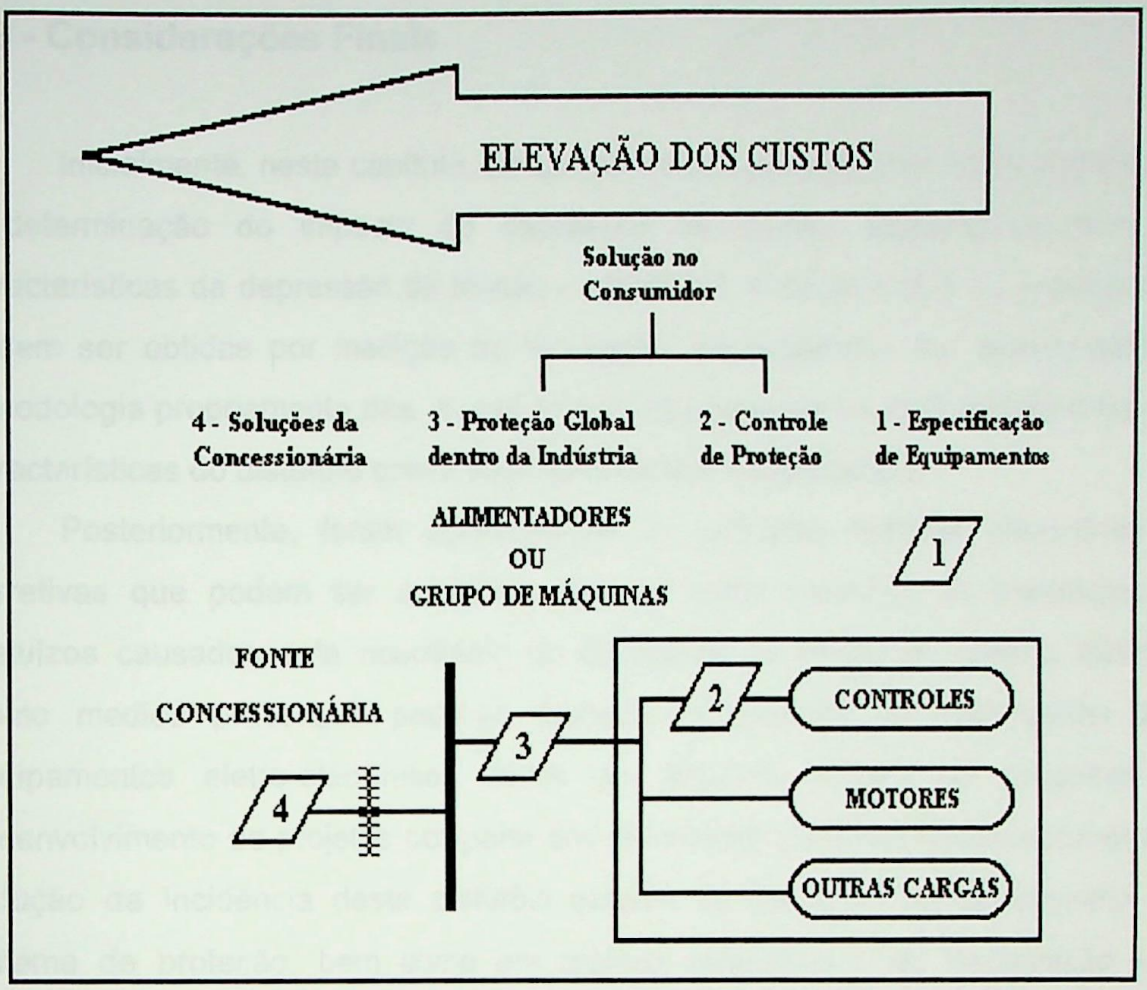


Figura 5.19 - Atuação das Medidas Preventivas e/ou Corretivas

5.6 - Considerações Finais

Inicialmente, neste capítulo, foi apresentada e aplicada uma metodologia para a determinação do impacto da depressão de tensão. Destacou-se, que as características da depressão de tensão - magnitude, duração e taxa de ocorrência - podem ser obtidas por medição ou simulação. Na seqüência, foi apresentada a metodologia propriamente dita, a qual se encontra baseada na confrontação entre as características do distúrbio com a sensibilidade dos equipamentos.

Posteriormente, foram apresentadas as principais medidas preventivas e corretivas que podem ser adotadas para se tentar minimizar os transtornos e prejuízos causados pela ocorrência da depressão de tensão no sistema elétrico. Como medida preventiva pode-se destacar: a melhoria do desempenho dos equipamentos eletro-eletrônicos frente ao distúrbio, através de pesquisas e desenvolvimento de projetos por parte dos fabricantes. Já como medidas corretivas, redução da incidência deste distúrbio através de melhorias no desempenho do sistema de proteção, bem como em práticas operativas e de manutenção e a instalação de condicionadores de energia. Contudo recomenda-se que qualquer ação a ser tomada esteja fundamentada em uma análise de custo/benefício do investimento.

Como contribuições efetivas deste capítulo, destaca-se:

- a apresentação e aplicação de uma metodologia para determinação do impacto da depressão de tensão,

- a obtenção das características da depressão de tensão - magnitude, duração e taxa de ocorrência através de pesquisas bibliográficas,

- sintetização e organização, de forma didática, das principais medidas preventivas e corretivas que podem ser adotadas, para minimizar o impacto da depressão de tensão em equipamentos e processos.

CAPÍTULO VI

Conclusões

Os problemas associados aos distúrbios da Qualidade da Energia Elétrica e, em especial, a ocorrência da depressão de tensão, tem despertado grande interesse nos vários setores - industrial, comercial e residencial - uma vez que, os prejuízos financeiros relacionados a este distúrbio atingem cifras cada vez mais elevadas.

No sentido de contribuir, ao menos pontualmente, para o conhecimento deste distúrbio da QEE, esta dissertação de mestrado apresentou um estudo geral sobre a depressão de tensão.

Constatou-se que a principal causa da depressão de tensão são as faltas (curtos-circuitos) no sistema elétrico e, por sua vez, estão intimamente correlacionados com a incidência das descargas atmosféricas sobre a rede elétrica.

Dentre os fatores que influenciam as características da depressão de tensão destacam-se: a "magnitude" da depressão de tensão que está associada à localização da falta, tipo de falta, impedância de falta, conexão dos transformadores e da tensão pré falta; a "duração" , que está relacionada com o tempo de atuação do sistema de proteção acrescido ao tempo de abertura dos disjuntores; a "taxa de ocorrência", que está associada ao nível ceráunico, poluição, interferências públicas diversas e taxa de falhas dos equipamentos elétricos e linhas de transmissão.

Através da curva *CBEMA,* pode-se perceber que a maioria dos distúrbios encontrados no sistema elétrico pode ser representada nesta curva, inclusive a depressão de tensão. Dentre os pontos desta curva destacam-se o 0,5 ciclo que mostra que os equipamentos eletro-eletrônicos devem ser projetados para suportar tensão zero durante este período. A partir da comparação entre as curvas de sensibilidade dos principais equipamentos eletro-eletrônicos obtidas e a curva *CBEMA,* pode-se observar que a faixa de sensibilidade destes equipamentos englobam , na sua maioria, a curva *CBEMA.*

A metodologia apresentada para a determinação do impacto da depressão de tensão, está baseada na confrontação entre as características da depressão de tensão - magnitude, duração e taxa de ocorrência - que podem ser obtidas através de medição ou simulação e a sensibilidade dos equipamentos eletro-eletrônicos, que pode ser obtida através de testes, consultas a fornecedores ou pesquisas bibliográficas.

Como contribuições efetivas desta dissertação destacam-se: a sintetização e organização das principais causas e fatores que influenciam a depressão de tensão; a obtenção das curvas de sensibilidade dos principais equipamentos eletro-eletrônicos obtidas a partir de referências bibliográficas; a apresentação de uma metodologia estatística para o levantamento da sensibilidade dos equipamentos; a apresentação e aplicação da metodologia para determinação do impacto da depressão de tensão sobre os equipamentos eletro-eletrônicos e, como contribuição final, foram sintetizadas e organizadas, de forma didática, as principais medidas corretivas e preventivas que podem ser adotadas para minimizar o impacto da depressão de tensão em equipamentos e processos.

Reconhecendo a depressão de tensão como sendo um dos principais itens de avaliação da Qualidade da Energia Elétrica, sugere-se o desenvolvimento das seguintes pesquisas complementares a esta dissertação:

- Avaliação do custo das interrupções devido à ocorrência da depressão de tensão, sobretudo em processos industriais sensíveis;

- Implementação computacional para determinação das características da depressão de tensão (magnitude, duração e taxa de ocorrência) ;
- Análise aprofundada das medidas preventivas, corretivas e proposição de medidas alternativas para minimização dos transtornos e prejuízos;
- Estudo aprofundado da influência das conexões dos transformadores sobre a depressão de tensão.

Além do estudo realizado, esta dissertação de mestrado produziu, até o momento, os seguintes artigos:

- CARVALHO FILHO, J. M. C; ABREU, J.P.G; CARVALHO, P. L. Impacto de *Voltage Sags* sobre Equipamentos Eletrônicos - VII Encontro Regional Latino-americano da CIGRÉ (ERLAC), Buenos Aires - Argentina, 1997 e II Seminário Brasileiro sobre a Qualidade da Energia Elétrica (SBQEE), São Lourenço, novembro de 1997.

- ABREU, J. P; CARVALHO FILHO, J. M. ; CARVALHO, P. L. Impact of Voltage Sags: A Methodology for its determination" - POWERSYSTEMS WORD'97, USA-Baltimore, Sep, 1997.

- ABREU, J. P; CARVALHO FILHO, J. M. ; CARVALHO, P. L. Análise do Impacto de *Voltage Sags* sobre Equipamentos Eletrônicos XIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE), Belém, out, 1997.

- GUIMARÃES, C. A. M; ABREU, J. P; FERREIRA, R. D. F; CARVALHO, P. L. Gerador de *Voltage Sags.* II Seminário Brasileiro sobre a Qualidade da Energia Elétrica (SBQEE), São Lourenço, nov, 1997.

Por fim, é importante ressaltar, que todas as considerações finais apresentadas em cada capítulo adicionam-se às apresentadas, concluindo-se, dessa forma, o trabalho aqui apresentado.

ANEXOS

ANEXO 1

Demonstração da Influência das Conexões dos Transformadores no Cálculo da Depressão de Tensão

Para as demonstrações do cálculo da depressão de tensão, inicialmente é considerada uma falta fase-terra na fase "A" do lado primário do transformador, como mostrado na figura 1. Vale ressaltar que, a fonte de tensão está a vazio.

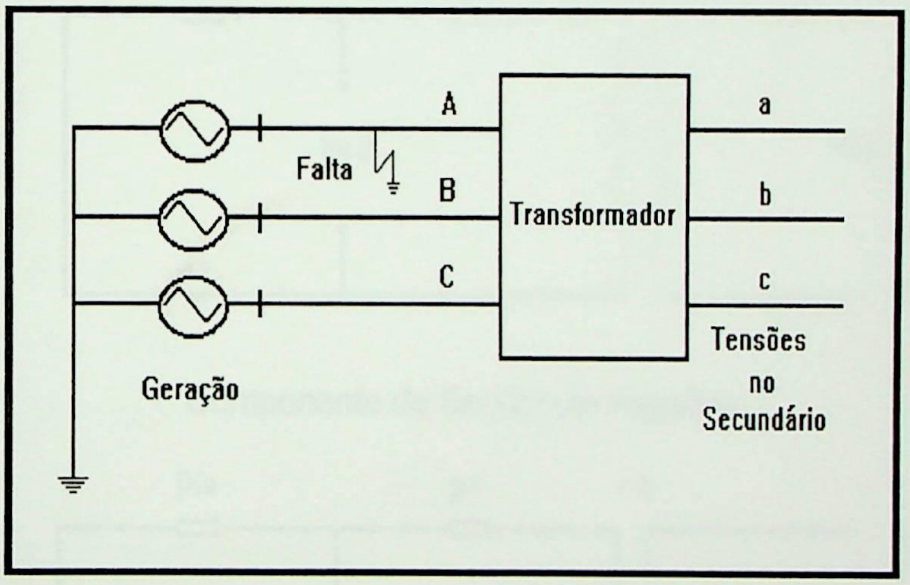
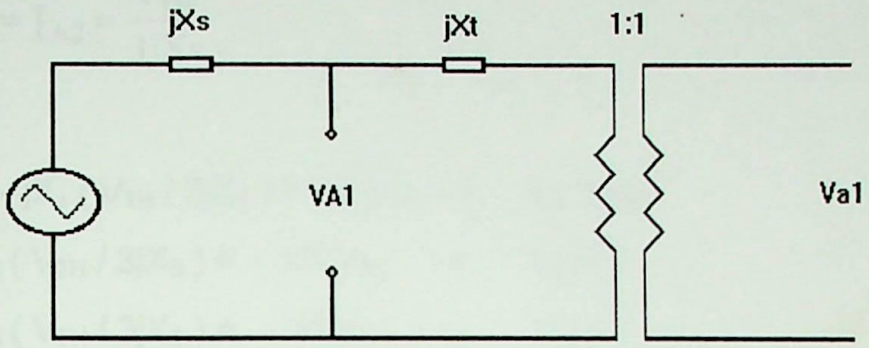


Figura 1 - Falta Fase-Terra no Primário do Transformador

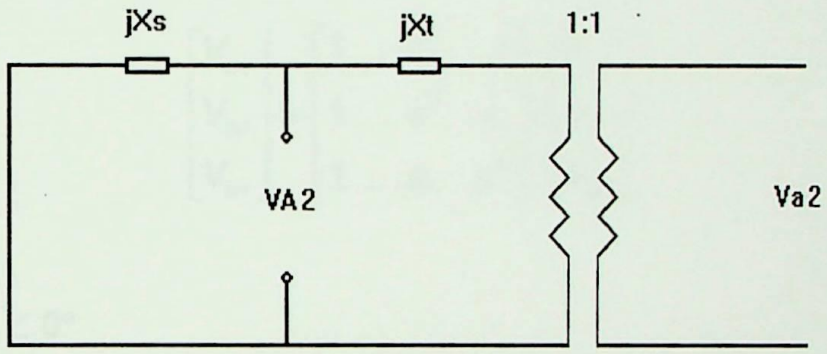
O cálculo dos valores foram realizados através do método de componentes simétricos, uma vez que este método constitui em poderosa ferramenta na análise de sistemas elétricos [29]. Para este cálculo, foram realizadas as seguintes considerações:

- Zso = Zs1 = Zs2 = jXs;
- Reatância de magnetização do transformador jXm $\cong \infty$;
- Relação de transformação do transformador 1:1;
- Vth = 1 p.u.

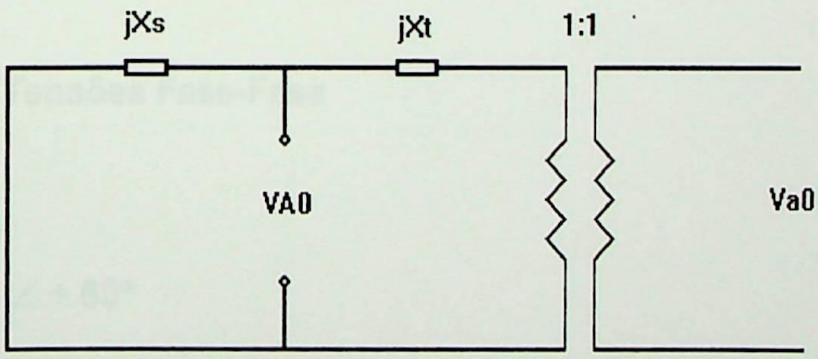
1º Caso : Y aterrado - Y aterrado



Componente de Seqüência Positiva



Componente de Seqüência Negativa



Componente de Seqüência Zero

Para:

$$I_{A0} = I_{A1} = I_{A2} = \frac{V_{TH}}{3jX_S}$$

Então:

$V_{A1} = V_{TH} - jX_s\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = 2/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a1} = V_{A1}$

$V_{A2} = - jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \quad \rightarrow \quad V_{a2} = V_{A2}$

$V_{A0} = - jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \quad \rightarrow \quad V_{a0} = V_{A0}$

Cálculo das Tensões Fase-Neutro

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.....1.....1 \\ 1.....a^2...a \\ 1.....a....a^2 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

$V_{an} = 0 \angle 0°$

$V_{bn} = 1 \angle -120°$

$V_{cn} = 1 \angle 120°$

Cálculo das Tensões Fase-Fase

$V_{ab} = V_{an} - V_{bn}$

$V_{ab} = 1 \angle + 60°$

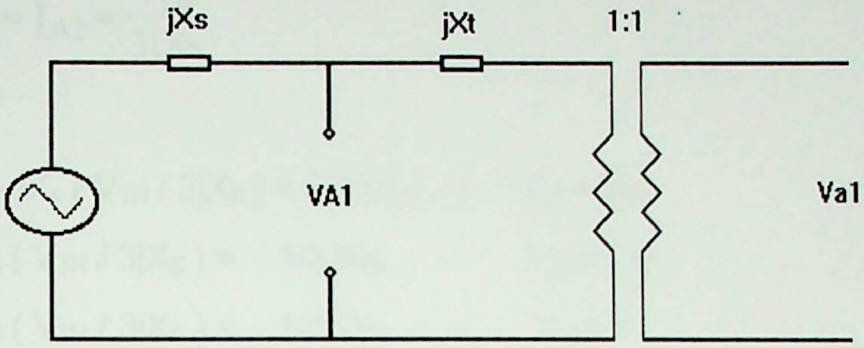
$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn}$

$V_{bc} = 1{,}73 \angle -90°$

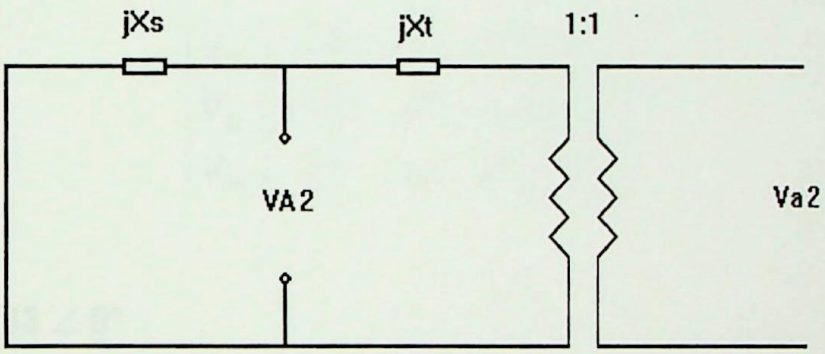
$V_{ca} = V_{cn} - V_{an}$

$V_{ca} = 1 \angle 120°$

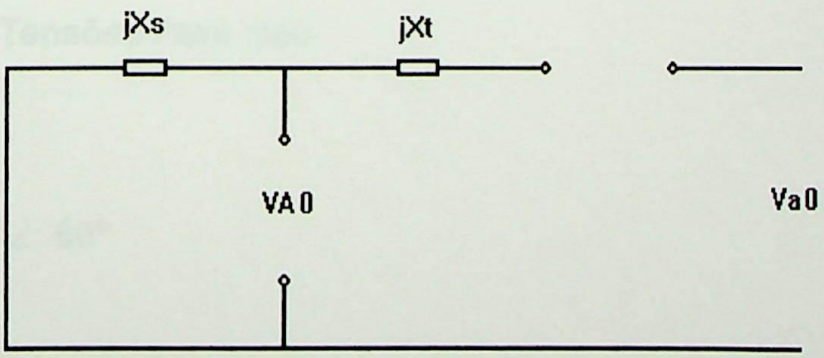
2º Caso : Y aterrado - Y , Y - Y e Y - Y aterrado



Componente de Seqüência Positiva



Componente de Seqüência Negativa



Componente de Seqüência Zero

Para:

$$I_{A0} = I_{A1} = I_{A2} = \frac{V_{TH}}{3jXs}$$

Então:

$V_{A1} = V_{TH} - jX_s\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = 2/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a1} = V_{A1}$

$V_{A2} = -\ jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a2} = V_{A2}$

$V_{A0} = -\ jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a0} = 0$

Cálculo das Tensões de Fase-Neutro

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \ldots\ldots 1 \ldots\ldots 1 \\ 1 \ldots\ldots a^2 \ldots a \\ 1 \ldots\ldots a \ldots\ldots a^2 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

$V_{an} = 0{,}33 \angle 0°$

$V_{bn} = 0{,}88 \angle -101°$

$V_{cn} = 0{,}88 \angle 101°$

Cálculo das Tensões Fase-fase

$V_{ab} = V_{an} - V_{bn}$

$V_{ab} = 1 \angle 60°$

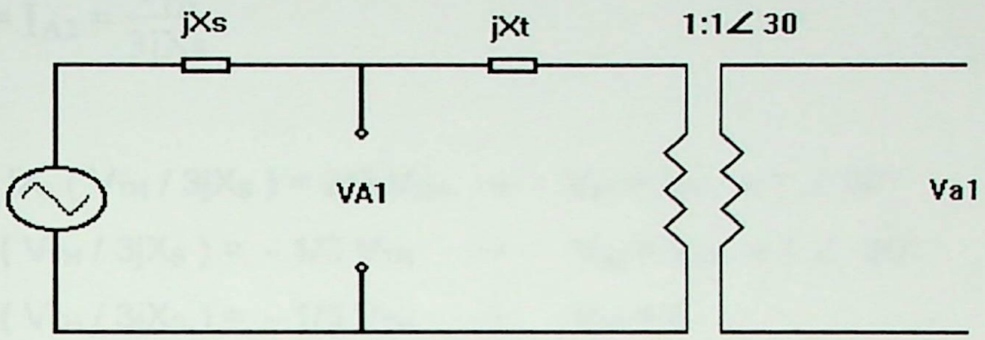
$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn}$

$V_{bc} = 1{,}73 \angle -90°$

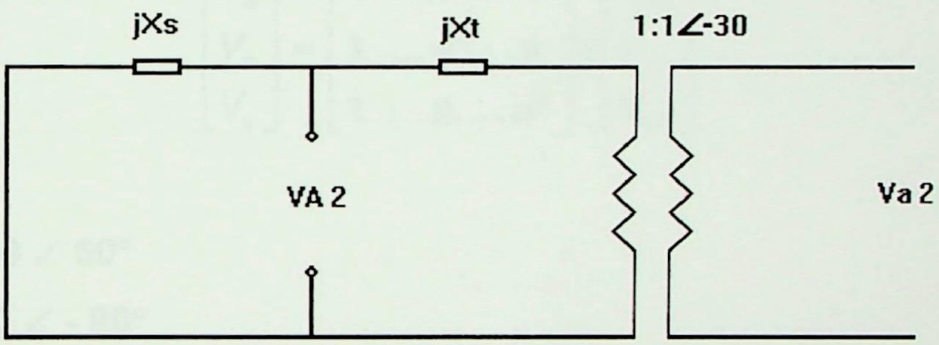
$V_{ca} = V_{cn} - V_{an}$

$V_{ca} = 1 \angle 120°$

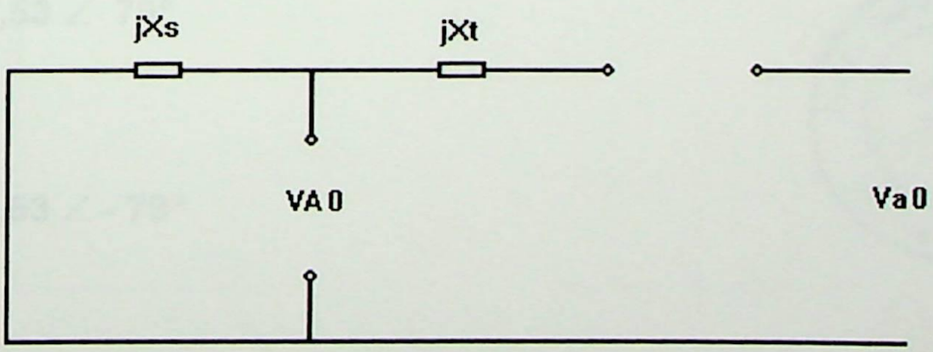
3º Caso: Y - Δ



Componente de Seqüência Positiva



Componente de Seqüência Negativa



Componente de Seqüência Zero

Para:

$$I_{Ao} = I_{A1} = I_{A2} = \frac{V_{TH}}{3jXs}$$

Então:

$V_{A1} = V_{TH} - jX_s\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = 2/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a1} = V_{A1}\ x\ 1 \angle 30°$

$V_{A2} = -\ jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a2} = V_{A2}\ x\ 1 \angle -30°$

$V_{A0} = -\ jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a0} = 0$

Cálculo das Tensões Fase-Fase

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.....1.....1 \\ 1.....a^2...a \\ 1.....a....a^2 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

$V_a = 0{,}58 \angle 60°$

$V_b = 1{,}0 \angle -90°$

$V_c = 0{,}58 \angle 120°$

$V_{ab} = V_a - V_b$

$V_{ab} = 1{,}53 \angle 79°$

$V_{bc} = V_b - V_c$

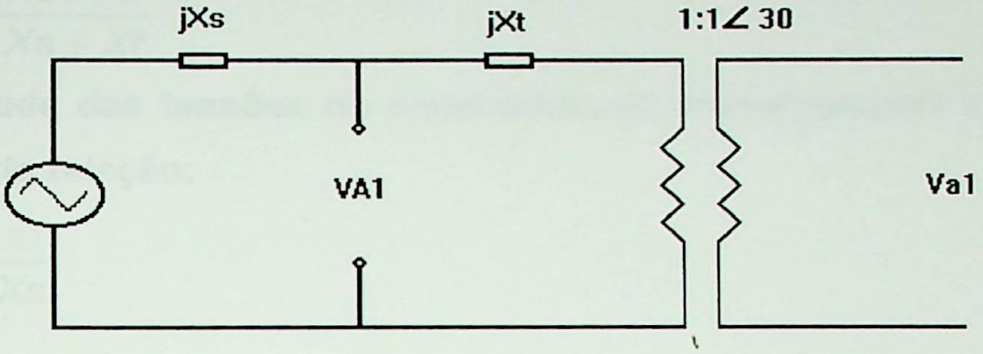
$V_{bc} = 1{,}53 \angle -79°$

$V_{ca} = V_c - V_a$

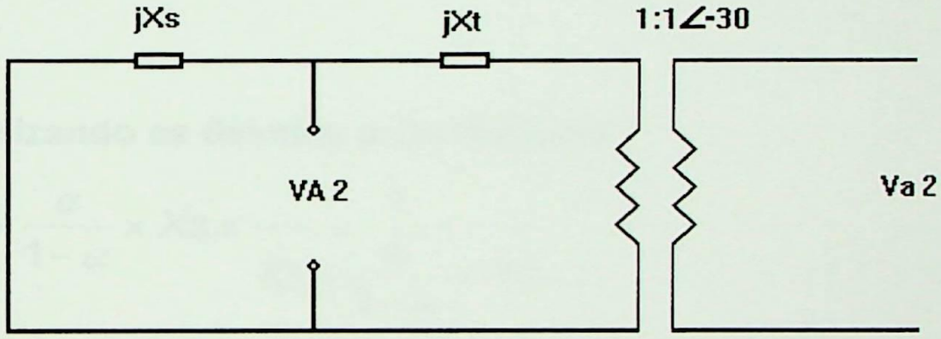
$V_{ca} = 0{,}58 \angle 180°$

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca
MAUÁ
BIM

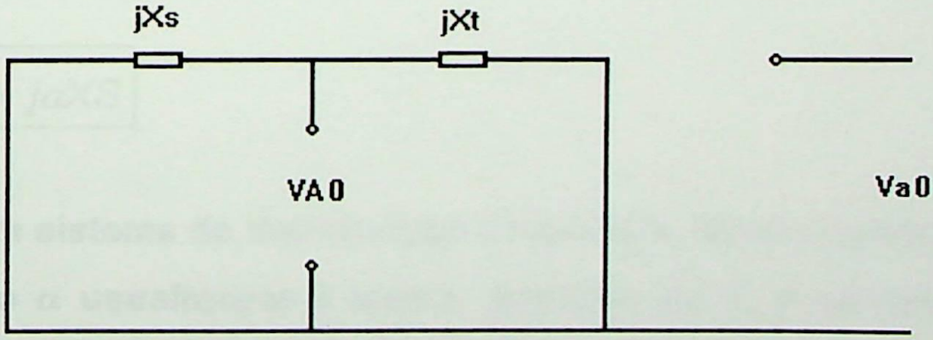
4º Caso: Y aterrado - Δ



Componente de Seqüência Positiva



Componente de Seqüência Negativa



Componente de Seqüência Zero

Através de análise do diagrama tem-se que:

$$Zoeq = j\frac{Xs \times Xt}{Xs + Xt}$$

A magnitude das tensões no secundário do transformador irá depender da seguinte relação:

$$\alpha = \frac{Xt}{Xt + Xs}$$

Ou:

$$Xt = \frac{\alpha}{1-\alpha} Xs$$

Portanto, realizando as devidas substituições:

$$Zoeq = jXs \times \frac{\alpha}{1-\alpha} \times Xs \times \frac{1}{Xs + \frac{\alpha}{1-\alpha} \times Xs}$$

$$Zoeq = jXs \times \frac{\alpha}{1-\alpha} \times \frac{1-\alpha}{1-\alpha+\alpha}$$

$$\boxed{Zoeq = j\alpha XS}$$

Para um sistema de distribuição de energia elétrica (geralmente 13,8 [kV]), a razão α usualmente é muito próxima de 1, e os resultados da tabela 3.2 são para este caso. Sendo assim:

$$Zoeq = Zso = Zs1 = Zs2 = jXs$$

Deste modo:

$$I_{A0} = I_{A1} = I_{A2} = \frac{V_{TH}}{3jXs}$$

Então:

$V_{A1} = V_{TH} - jX_s\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = 2/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a1} = V_{A1}\ x\ 1 \angle 30°$

$V_{A2} = -\ jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a2} = V_{A2}\ x\ 1 \angle -30°$

$V_{A0} = -\ jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a0} = 0$

Cálculo das Tensões Fase-Fase

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

$V_a = 0{,}58 \angle 60°$

$V_b = 1{,}0 \angle -90°$

$V_c = 0{,}58 \angle 120°$

$V_{ab} = V_a - V_b$

$V_{ab} = 1{,}53 \angle 79°$

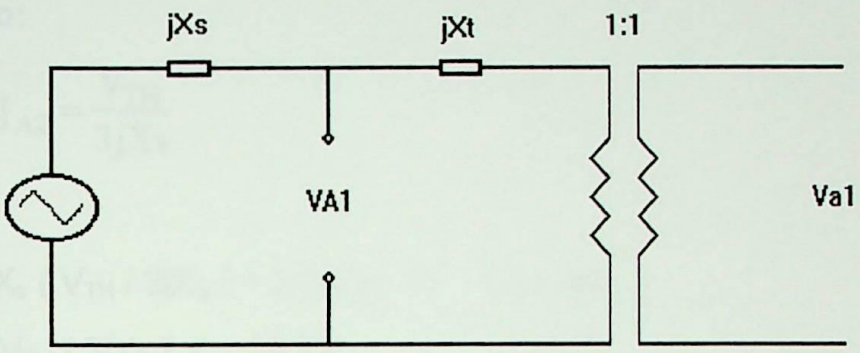
$V_{bc} = V_b - V_c$

$V_{bc} = 1{,}53 \angle -79°$

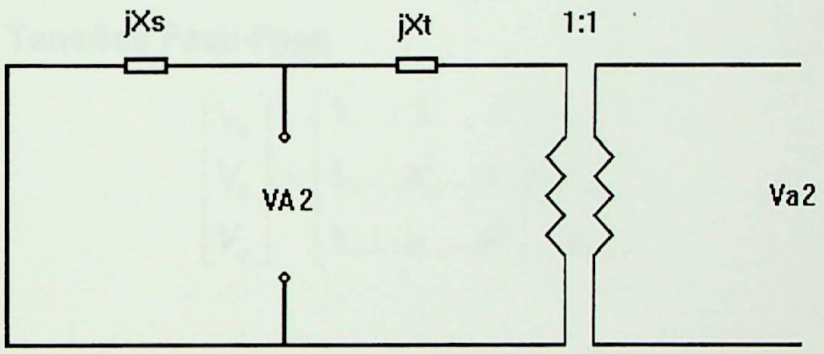
$V_{ca} = V_c - V_a$

$V_{ca} = 0{,}58 \angle 180°$

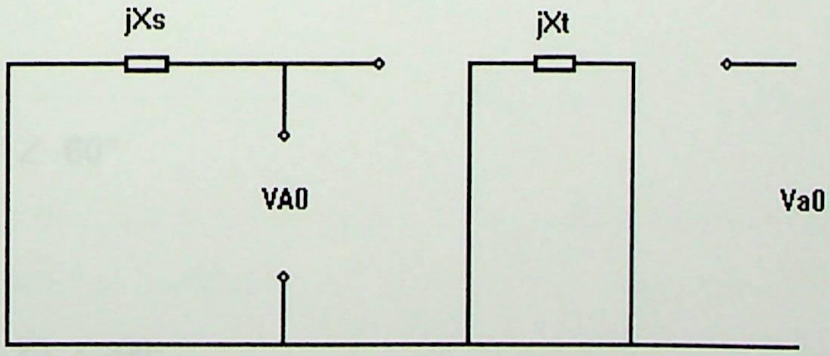
5º Caso: Δ - Δ



Componente de Seqüência Positiva



Componente de Seqüência Negativa



Componente de Seqüência Zero

Através da análise dos diagramas tem-se:

$$Zso = Zs1 = Zs2 = jXs$$

Deste modo:

$$I_{Ao} = I_{A1} = I_{A2} = \frac{V_{TH}}{3jXs}$$

Então:

$V_{A1} = V_{TH} - jX_s\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = 2/3\ V_{TH} \rightarrow V_{a1} = V_{A1}$

$V_{A2} = -\ jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \rightarrow V_{a2} = V_{A2}$

$V_{A0} = -\ jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \rightarrow V_{a0} = 0$

Cálculo das Tensões Fase-Fase

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

$V_a = 0{,}33 \angle 0°$

$V_b = 0{,}88 \angle -101°$

$V_c = 0{,}88 \angle 101°$

$V_{ab} = V_a - V_b$

$V_{ab} = 1 \angle 60°$

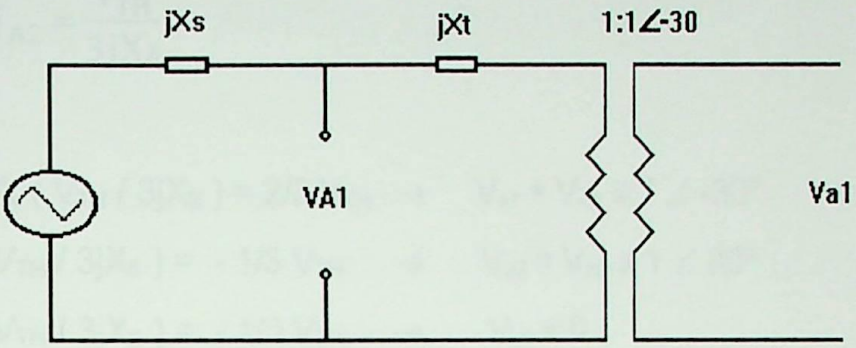
$V_{bc} = V_b - V_c$

$V_{bc} = 1{,}73 \angle -90°$

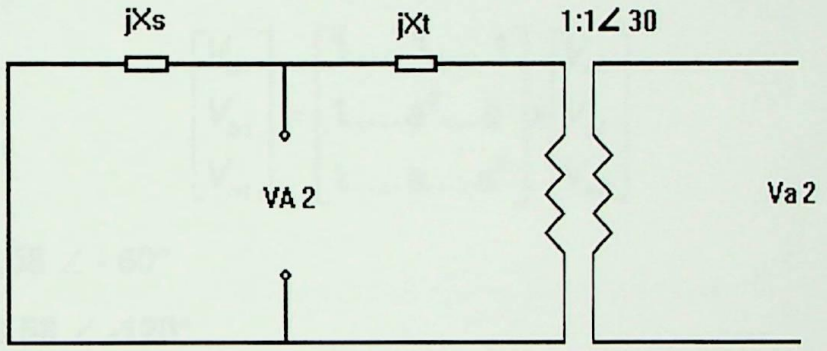
$V_{ca} = V_c - V_a$

$V_{ca} = 1 \angle 120°$

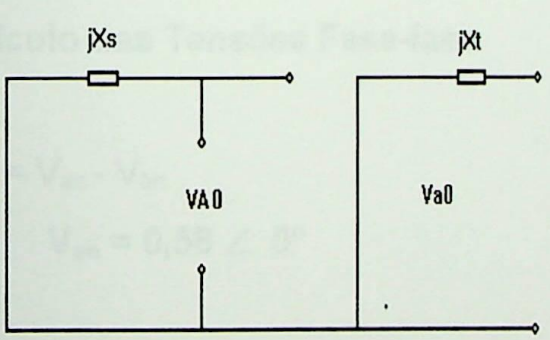
6º Caso : Δ - Y aterrado e Δ - Y



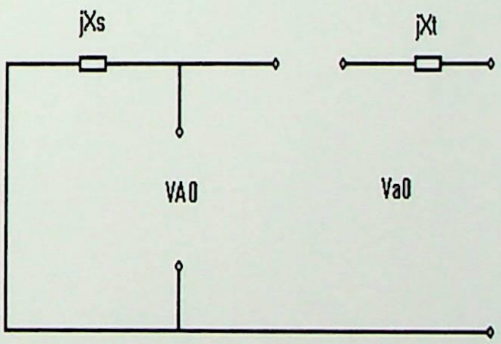
Componente de Seqüência Positiva



Componente de Seqüência Negativa



Componente de Seqüência Zero para Conexão Δ - Yaterrado



Componente de Seqüência Zero para Conexão Δ - Y

Para:

$$I_{Ao} = I_{A1} = I_{A2} = \frac{V_{TH}}{3jXs}$$

Então:

$V_{A1} = V_{TH} - jX_s\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = 2/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a1} = V_{A1} \times 1 \angle -30°$

$V_{A2} = -\ jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a2} = V_{A2} \times 1 \angle 30°$

$V_{A0} = -\ jX_S\ (\ V_{TH} / 3jX_S\ ) = -\ 1/3\ V_{TH} \rightarrow \quad V_{a0} = 0$

Cálculo das Tensões Fase-Neutro

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \ldots\ldots 1 \ldots\ldots 1 \\ 1 \ldots\ldots a^2 \ldots a \\ 1 \ldots\ldots a \ldots\ldots a^2 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

$V_{an} = 0{,}58 \angle -60°$

$V_{bn} = 0{,}58 \angle -120°$

$V_{cn} = 1 \angle 90°$

Cálculo das Tensões Fase-fase

$V_{ab} = V_{an} - V_{bn}$

$V_{ab} = 0{,}58 \angle 0°$

$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn}$

$V_{bc} = 1{,}53 \angle -101°$

$V_{ca} = V_{cn} - V_{an}$

$V_{ca} = 1{,}53 \angle 101°$

ANEXO 2

Método Estatístico

Apresentação do Modelo Normal [23]

Definição: Diz-se que a variável aleatória tem distribuição normal com parâmetros μ(média) e σ^2 (Variância), $-\infty<\mu<\infty$ e $0<\sigma^2<\infty$, se a sua função distribuição acumulada é dada por:

$$f(x) = \left(\frac{1}{(\sigma * 2 * \pi)^{\frac{1}{2}}}\right) * e^{\frac{(-x-\mu)^2}{2*\sigma^2}}$$

A figura 1 ilustra uma curva normal, determinada por valores particulares da média e da variância.

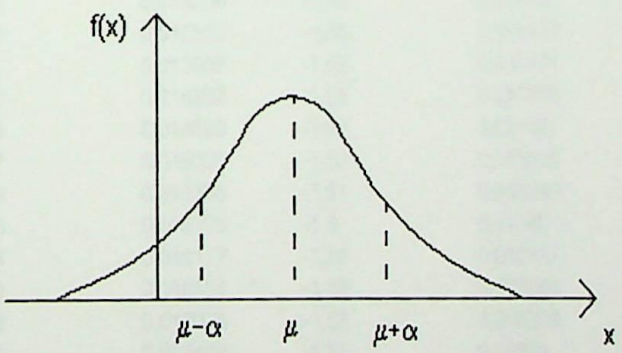


Figura 1 - Curva Normal

Tabela de Distribuição Normal Padronizada

f(x)	x	f(x)	x	f(x)	x	f(x)
0,000968	-2,55	0,005386	-2	0,02275	-1,45	0,073529
0,001001	-2,54	0,005543	-1,99	0,023295	-1,44	0,074934
0,001035	-2,53	0,005703	-1,98	0,023852	-1,43	0,076359
0,00107	-2,52	0,005868	-1,97	0,024419	-1,42	0,077804
0,001107	-2,51	0,006037	-1,96	0,024998	-1,41	0,07927
0,001144	-2,5	0,00621	-1,95	0,025588	-1,4	0,080757
0,01183	-2,49	0,006387	-1,94	0,02619	-1,39	0,082264
0,001223	-2,48	0,006569	-1,93	0,026803	-1,38	0,083793
0,001264	-2,47	0,006756	-1,92	0,027429	-1,37	0,085344
0,001306	-2,46	0,006947	-1,91	0,028067	-1,36	0,086915
0,00135	-2,45	0,007143	-1,9	0,028717	-1,35	0,088508
0,001395	-2,44	0,007344	-1,89	0,029379	-1,34	0,090123
0,001441	-2,43	0,007549	-1,88	0,030054	-1,33	0,091759
0,001489	-2,42	0,00776	-1,87	0,030742	-1,32	0,093418
0,001538	-2,41	0,007976	-1,86	0,031443	-1,31	0,095098
0,001589	-2,4	0,008198	-1,85	0,032157	-1,3	0,096801
0,001641	-2,39	0,008424	-1,84	0,032884	-1,29	0,098525
0,001695	-2,38	0,008656	-1,83	0,033625	-1,28	0,100273
0,00175	-2,37	0,008894	-1,82	0,034379	-1,27	0,102042
0,001807	-2,36	0,009137	-1,81	0,035148	-1,26	0,103835
0,001866	-2,35	0,009387	-1,8	0,03593	-1,25	0,10565
0,001926	-2,34	0,009642	-1,79	0,036727	-1,24	0,107488
0,001988	-2,33	0,009903	-1,78	0,037538	-1,23	0,109349
0,002052	-2,32	0,01017	-1,77	0,038364	-1,22	0,111233
0,002118	-2,31	0,010444	-1,76	0,039204	-1,21	0,11344
0,2186	-2,3	0,010724	-1,75	0,040059	-1,2	0,11507
0,002256	-2,29	0,011011	-1,74	0,040929	-1,19	0,117023
0,002327	-2,28	0,011304	-1,73	0,041815	-1,18	0,119
0,002401	-2,27	0,011604	-1,72	0,042716	-1,17	0,121001
0,002477	-2,26	0,011911	-1,71	0,043633	-1,16	0,123024
0,002555	-2,25	0,012224	-1,7	0,044565	-1,15	0,125072
0,002635	-2,24	0,12545	-1,69	0,045514	-1,14	0,127143
0,002718	-2,23	0,012874	-1,68	0,046479	-1,13	0,129238
0,002803	-2,22	0,013209	-1,67	0,04746	-1,12	0,131357
0,00289	-2,21	0,013553	-1,66	0,048457	-1,11	0,1335
0,00298	-2,2	0,013903	-1,65	0,049471	-1,1	0,135666
0,003072	-2,19	0,014262	-1,64	0,050503	-1,09	0,137857
0,0031167	-2,18	0,014629	-1,63	0,051551	-1,08	0,140071
0,003264	-2,17	0,015003	-1,62	0,052616	-1,07	0,14231
0,003364	-2,16	0,015386	-1,61	0,053699	-1,06	0,144572
0,003467	-2,15	0,015778	-1,6	0,45799	-1,05	0,146859
0,003573	-2,14	0,016177	-1,59	0,055917	-1,04	0,14917
0,003681	-2,13	0,016586	-1,58	0,057053	-1,03	0,151505
0,003793	-2,12	0,017003	-1,57	0,058208	-1,02	0,152864
0,003907	-2,11	0,017429	-1,56	0,05938	-1,01	0,156248
0,004025	-2,1	0,017864	-1,55	0,060571	-1	0,158655
0,004145	-2,09	0,018309	-1,54	0,06178	-0,99	0,161087
0,004269	-2,08	0,018763	-1,53	0,063008	-0,98	0,163513
0,004396	-2,07	0,019226	-1,52	0,0644256	-0,97	0,166023
0,004527	-2,06	0,019699	-1,51	0,065522	-0,96	0,168529
0,004661	-2,05	0,020182	-1,5	0,066807	-0,95	0,171056
0,004799	-2,04	0,0200675	-1,49	0,068112	-0,94	0,173609
0,00494	-2,03	0,021178	-1,48	0,069437	-0,93	0,176486
0,005085	-2,02	0,0211692	-1,47	0,070781	-0,92	0,178786
0,005234	-2,01	0,02216	-1,46	0,072145	-0,91	0,181411

	f(x)	x	f(x)	x	f(x)	x	f(x)
9	0,184	-0,35	0,363169	0,2	0,57926	0,75	0,773373
89	0,186733	-0,34	0,366928	0,21	0,583166	0,76	0,776373
88	0,18943	-0,33	0,3707	0,22	0,587064	0,77	0,77935
87	0,19215	-0,32	0,374484	0,23	0,590954	0,78	0,782305
86	0,194894	-0,31	0,37281	0,24	0,594835	0,79	0,785236
85	0,197663	-0,3	0,382089	0,25	0,598706	0,8	0,788145
84	0,200454	-0,29	0,385908	0,26	0,602568	0,81	0,79103
83	0,203269	-0,28	0,389739	0,27	0,60642	0,82	0,793892
82	0,206108	-0,27	0,39358	0,28	0,610261	0,83	0,796731
81	0,20897	-0,26	0,397432	0,29	0,614092	0,84	0,799546
8	0,211855	-0,25	0,401294	0,3	0,617911	0,85	0,802337
,79	0,214764	-0,24	0,405165	0,31	0,621719	0,86	0,805106
,78	0,217695	-0,23	0,409046	0,32	0,625516	0,87	0,80785
,77	0,22065	-0,22	0,412936	0,33	0,6293	0,88	0,81057
,76	0,223627	-0,21	0,416834	0,34	0,633072	0,89	0,813267
,75	0,226627	-0,2	0,42074	0,35	0,636831	0,9	0,81594
,74	0,22965	-0,19	0,42655	0,36	0,64576	0,91	0,818589
,73	0,232695	-0,18	0,428576	0,37	0,644309	0,92	0,821214
,72	0,235762	-0,17	0,432505	0,38	0,648027	0,93	0,823814
,71	0,238852	-0,16	0,436411	0,39	0,651732	0,94	0,826391
,7	0,241964	-0,15	0,440382	0,4	0,655422	0,95	0,8228944
,69	0,245097	-0,14	0,44433	0,41	0,659097	0,96	0,831472
,68	0,248252	-0,13	0,448283	0,42	0,662757	0,97	0,833977
,67	0,251429	-0,12	0,452242	0,43	0,666402	0,98	0,836457
,66	0,254627	-0,11	0,456205	0,44	0,670031	0,99	0,838913
,65	0,257846	-0,1	0,0460172	0,45	0,673645	1	0,841345
,64	0,264086	-0,09	0,464144	0,46	0,677242	1,01	0,843752
,63	0,264347	-0,08	0,468119	0,47	0,680822	1,02	0,846136
,62	0,267629	-0,07	0,472097	0,48	0,684386	1,03	0,848495
,61	0,270931	-0,06	0,476078	0,49	0,687933	1,04	0,8503
,6	0,274253	-0,05	0,480061	0,5	0,691462	1,05	0,853114
,59	0,277595	-0,04	0,484047	0,51	0,694974	1,06	0,855428
,58	0,280957	-0,03	0,488034	0,52	0,698468	1,07	0,85769
,57	0,284339	-0,02	0,492022	0,53	0,701944	1,08	0,859929
,56	0,28774	-0,01	0,496011	0,54	0,705401	1,09	0,862143
,55	0,29116	0	0,5	0,55	0,70884	1,1	0,868334
,54	0,294599	0,01	0,503989	0,56	0,71226	1,11	0,8665
,53	0,298056	0,02	0,507978	0,57	0,715661	1,12	0,868643
,52	0,301532	0,03	0,511967	0,58	0,719043	1,13	0,870762
,51	0,305026	0,04	0,515953	0,59	0,722405	1,14	0,872857
,5	0,308538	0,05	0,519939	0,6	0,725747	1,15	0,874928
,49	0,312067	0,06	0,523922	0,61	0,729069	1,16	0,876976
,48	0,315614	0,07	527903	0,62	0,732371	1,17	0,878999
,47	0,319178	0,08	0,531881	0,63	0,735653	1,18	0,881
,46	0,322758	0,09	0,535856	0,64	0,738914	1,19	0,882977
,45	0,326335	0,1	0,539828	0,65	0,742154	1,2	0,88493
,44	0,329969	0,11	0,543795	0,66	0,745373	1,21	0,88686
,43	0,333598	0,12	0,547758	0,67	0,748571	1,22	0,888767
,42	0,337243	0,13	0,551717	0,68	0,751748	1,23	0,890651
,41	0,340903	0,14	0,55567	0,69	0,754903	1,24	0,892512
,4	0,344578	0,15	0,559618	0,7	0,758036	1,25	0,89435
,39	0,348268	0,16	0,563559	0,71	0,761148	1,26	0,896165
,38	0,351973	0,17	0,567495	0,72	0,76438	1,27	0,897958
,37	0,355691	0,18	0,571424	0,73	0,767305	1,28	0,899727
,36	0,359424	0,19	0,575345	0,74	0,77035	1,29	0,901475

f(x)	x	f(x)	x	f(x)	x	f(x)
0,903199	1,85	0,967843	2,4	0,991802	2,95	0,998411
0,904902	1,86	0,968557	2,41	0,992024	2,96	0,998462
0,906582	1,87	0,938258	2,42	0,99224	2,97	0,998511
0,908241	1,88	0,969946	2,43	0,992451	2,98	0,998559
0,90877	1,89	0,970621	2,44	0,992656	2,99	0,998605
0,911492	1,9	0,971283	2,45	0,993857	3	0,99865
0,913085	1,91	0,971933	2,46	0,993053	3,01	0,998694
0,914657	1,92	0,972571	2,47	0,993244	3,02	0,998736
0,916207	1,93	0,973197	2,48	0,993431	3,03	0,998777
0,917736	1,94	0,97381	2,49	0,993613	3,04	0,998817
0,919243	1,95	0,974412	2,5	0,99739	3,05	0,998856
0,92073	1,96	0,975002	2,51	0,994963	3,06	0,998893
0,922196	1,97	0,975581	2,52	0,994132	3,07	0,99893
0,923641	1,98	0,976448	2,53	0,994297	3,08	0,998965
0,925066	1,99	0,976705	2,54	0,994457	3,09	0,998999
0,926471	2	0,97725	2,55	0,994614		
0,927855	2,01	0,977784	2,56	0,994766		
0,929219	2,02	0,978308	2,57	0,995915		
0,930563	2,03	0,978822	2,58	0,99506		
0,931888	2,04	0,979325	2,59	0,995201		
0,933193	2,05	0,979818	2,6	0,995339		
0,934478	2,06	0,98031	2,61	0,995473		
0,935744	2,07	0,980774	2,62	0,995604		
0,936992	2,08	0,981237	2,63	0,995731		
0,93822	2,09	0,981691	2,64	0,995855		
0,936429	2,1	0,982136	2,65	0,996975		
0,94062	2,11	0,982571	2,66	0,996093		
0,941792	2,12	0,982997	2,67	0,996207		
0,942947	2,13	0,983414	2,68	0,996319		
0,944083	2,14	0,983823	2,69	0,996427		
0,945201	2,15	0,983222	2,7	0,996533		
0,946301	2,16	0,984616	2,71	0,996636		
0,947384	2,17	0,984997	2,72	0,996736		
0,948449	2,18	0,985371	2,73	0,996833		
0,949497	2,19	0,985738	2,74	0,996728		
0,950529	2,2	0,986097	2,75	0,99702		
0,951543	2,21	0,986447	2,76	0,99711		
0,95254	2,22	0,986791	2,77	0,997197		
0,953521	2,23	0,987126	2,78	0,997282		
0,954486	2,24	0,987455	2,79	0,997365		
0,955435	2,25	0,987776	2,8	0,997445		
0,956367	2,26	0,988089	2,81	0,997523		
0,957284	2,27	0,988396	2,82	0,997599		
0,958185	2,28	0,988696	2,83	0,997673		
0,959071	2,29	0,988989	2,84	0,997744		
0,959941	2,3	0,989276	2,85	0,997814		
0,960796	2,31	0,989556	2,86	0,997882		
0,961036	2,32	0,98983	2,87	0,997948		
0,962462	2,33	0,990097	2,88	0,998012		
0,623273	2,34	0,990358	2,89	0,998074		
0,96407	2,35	0,990613	2,9	0,998134		
0,964852	2,36	0,990863	2,91	0,998193		
0,965621	2,37	0,991106	2,92	0,99825		
0,966375	2,38	0,991344	2,93	0,998305		
0,967116	2,39	0,991576	2,94	0,998359		

Curva dos Intervalos de Confiança

Seja então X1, X2,..., Xn uma amostra aleatória de uma população e θ o parâmetro de interesse. Sejam θ_0 e θ_1 estatísticas tais que:

$P(\theta_0 < \theta < \theta_1) = 1 - \alpha$

Então [θ_0 e θ_1] é chamado *Intervalo de Confiança* de nível 100 (1 - α)% para θ. Usualmente utiliza-se 1 - α = 0,95 ou 0,99. Vale ressaltar que, a expressão do tipo $P(\theta_0 < \theta < \theta_1) = 0,95$ deve ser interpretada muito cuidadosamente. Ela não significa que a probabilidade do parâmetro μ cair dentro de intervalo especificado seja igual a 0,95 μ sendo o parâmetro, está ou não dentro do intervalo acima. De preferência a expressão acima deve ser interpretada assim: "0,95 é a probabilidade de que um intervalo aleatório [θ_0 θ_1] contenha μ."

ANEXO 3

Gerador de Depressão de Tensão

OBJETIVOS

O desafio desta aplicação é manter em operação o sistema de controle durante a ocorrência de *Sag* sem comprometer a integridade dos equipamentos envolvidos no processo. Para isso é necessário o levantamento da sensibilidade dos equipamentos frente a *Voltage Sag.*

Portanto, foi desenvolvido com a contribuição de uma aluno de graduação um protótipo de um gerador para realizar este levantamento. Este equipamento gerador de *Voltage Sag*, tem como principais objetivos :

- estabelecer meios de gerar sinais senoidais a partir da rede elétrica, que tenham a característica de possuírem para cada fase, a mesma freqüência, a mesma fase, porém tensão reduzida - *Sag* ;
- controle de temporização via *software* ;
- controle independente de cada fase ;
- vasta aplicabilidade.

FUNCIONAMENTO

O controle do gerador de *Voltage Sag* é feito por microcomputador, necessitando-se apenas de alguns ajustes de *hardware*.

Uma vez feitas as ligações da carga (referir-se à figura 5) e estabelecida a tensão de Sag através do autotransformador, executa-se então o programa de controle que dará início ao ensaio, conforme detalhado a seguir :

• a princípio, a interface de tiristores é "resetada" para assegurar o desligamento da carga. Em seguida, através de um menu, define-se o tipo - normal ou interrupção, e a duração - total de ciclos, do ensaio;

• um dado de controle é então enviado pelo programa para habilitar a placa de tiristores, acionando-se a carga com tensão nominal;

Através de um dado de leitura que vem de um detetor de passagem por zero - *zero-cross*, o programa detecta o instante em que o sinal senoidal da rede passa pelo zero.

Caso não seja detectado este sinal, o programa exibe uma mensagem de erro alertando o operador para um possível problema, encerrando o ensaio. Senão, é exibida uma mensagem de operação normal, sendo pedida uma confirmação para a execução do ensaio.

A partir daí, é iniciado o ensaio propriamente dito com *Voltage Sag* através de um dado de controle que o programa envia à interface de tiristores "setando" o bit de *Sag*. A temporização é também iniciada, sendo feita através de uma rotina que lê o dado de *zero-cross* e incrementa o tempo (duração) de ensaio de *Voltage Sag,* até que se atinja o tempo pré-determinado no início do programa.

Neste instante, o ensaio é finalizado com o envio de um outro dado de controle que "reseta" o bit de *Sag,*, retornando à condição de tensão nominal na carga.

Se no decorrer do ensaio o mesmo for interrompido, o programa retorna ao menu principal, restabelecendo as condições iniciais com a interface de tiristores "resetada". Outros recursos de sistema são implementados de modo a facilitar e enriquecer o *software*, contudo, nada que afete o funcionamento do gerador de *Voltage Sag*.

É importante salientar que dentre as várias aplicações deste equipamento gerador de *Voltage Sag*, além da própria geração de *Sag*, pode-se destacar :

- a geração de *Swell*, que caracteriza uma elevação da tensão da rede;
- a simulação de transitórios através, por exemplo, de capacitores.

dentre outras, sendo todas estas aplicações de fácil implementação.

O fluxograma da figura 1 ilustra resumidamente a operação do *software* de controle.

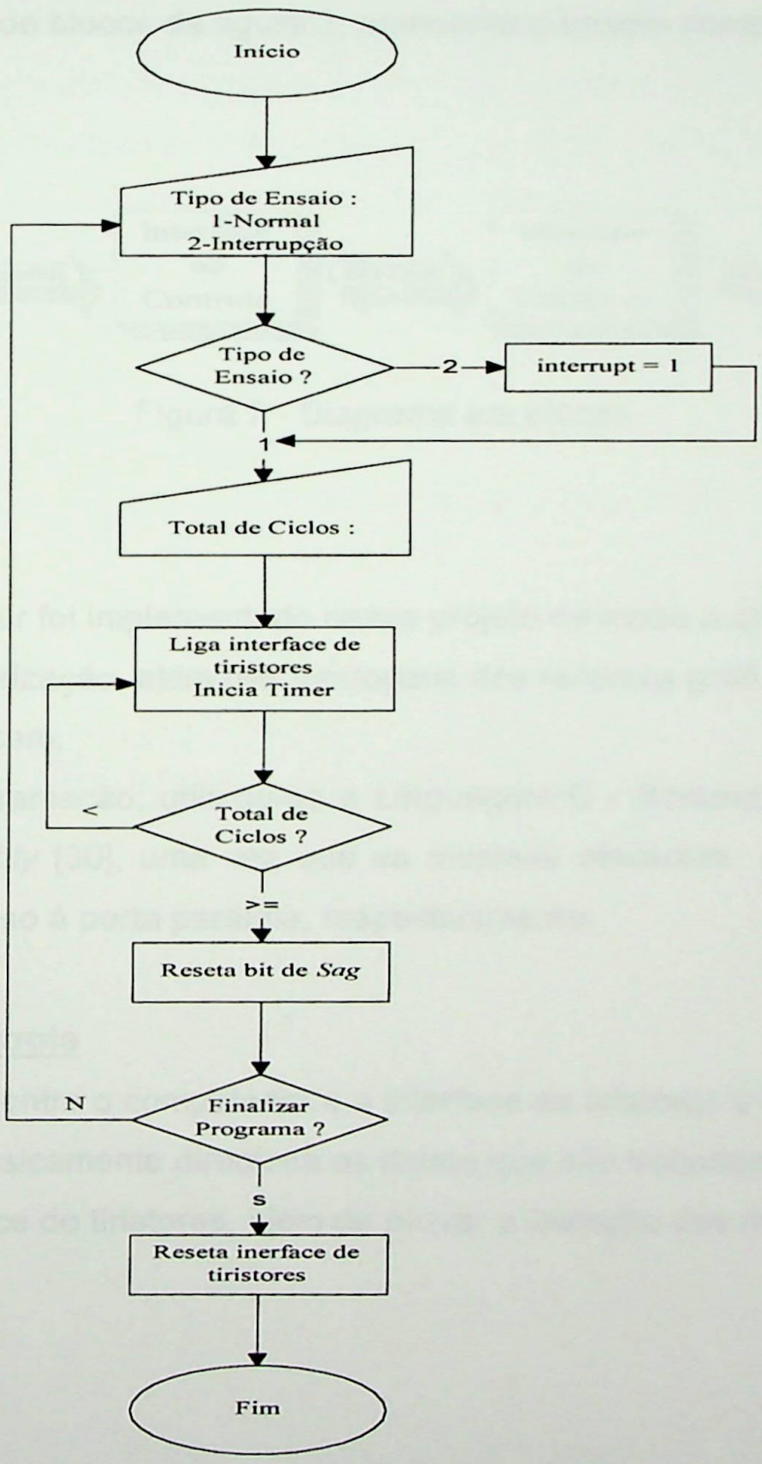


Figura 1 - Fluxograma

O projeto completo é composto de quatro partes :

- Computador
- Interface de Controle
- Interface de Tiristores
- Gerador de Depressão de Tensão.

O diagrama de blocos da figura 2, apresenta o projeto completo

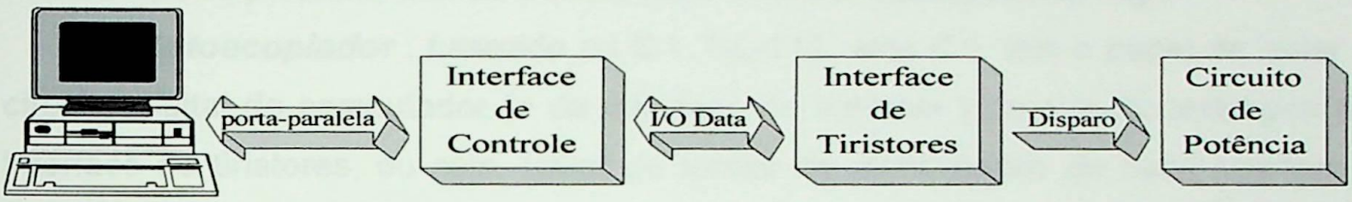


Figura 2 - Diagrama em blocos

• **Computador**

O computador foi implementado nesse projeto de modo a otimizar e facilitar o processo de temporização, além das vantagens dos recursos gráficos e práticos que os *softwares* oferecem.

Para a programação, utilizou-se a Linguagem C - Borland, em conjunto com rotinas em *Assembly* [30], uma vez que as mesmas oferecem recursos de tela e facilidades de acesso à porta paralela, respectivamente.

• **Interface de Controle**

A "conexão" entre o computador e a interface de tiristores é feita pela interface de controle, que basicamente direciona os dados que são trocados entre a porta paralela e a interface de tiristores, além de prover a isolação das mesmas através de optoacopladores.

O circuito se divide em duas partes :

• ***Flip-Flop*** : baseado no C.I. 74LS374 - TTL, que é um *flip-flop* de oito saídas em 3-state, este C.I. faz todo o processo de I/O com ganho de corrente nas saídas para pequenas correntes de entrada, uma vez que as saídas da porta paralela são de baixa corrente, evitando que as mesmas se danifiquem por excesso de corrente. Além disso, como este *flip-flop* é de bordo de subida, ou seja, guarda as informações dos dados de entrada somente na transição de um *clock* do nível 0 ao 1 - através da saída *strobe* da porta paralela que gera um pulso sempre que um dado é enviado à saída da porta paralela, tem-se a segurança do sinal retido pelo *flip-flop*;

• ***Optoacoplador*** : baseado no C.I. TIL-111, este C.I. tem o papel de isolar o circuito digital do computador (e da interface de controle) do circuito analógico da interface de tiristores, ou seja, isolar as fontes de alimentação de cada interface - terras distintos, fato esse de muita importância, uma vez que o computador fica imune a qualquer problema que possa ocorrer com a parte analógica, não correndo o risco de sofrer danos. A figura 3 representa o circuito da interface de controle.

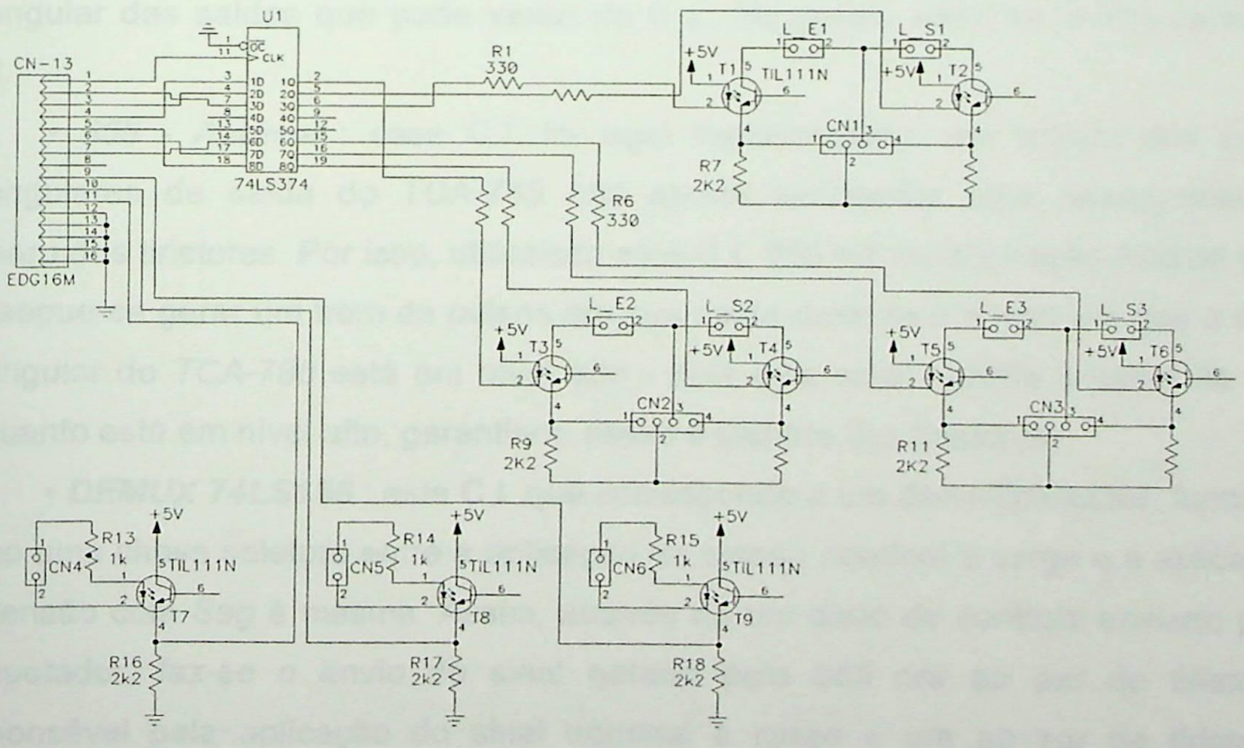


Figura 3 - Interface de Controle

- **Interface de Tiristores**

O circuito principal que faz o disparo dos pares antiparalelos de tiristores é a interface de controle. Esse circuito se divide em 4 partes, conforme diagrama em blocos da figura 4.

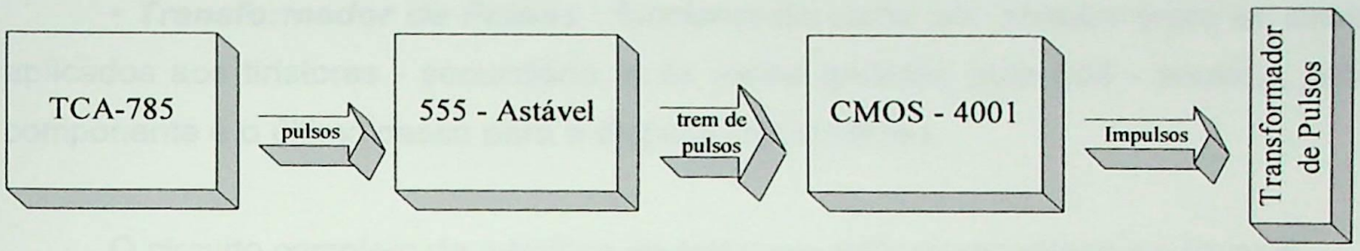


Figura 4 - Diagrama em blocos

• ***TCA-785*** : este componente de fácil manuseio, possui basicamente uma entrada para o sinal senoidal da rede, gerando em duas saídas sinais digitais que correspondem aos instantes de passagem do sinal senoidal pelo zero - *zero-cross.*

Além disso, o *TCA-785* fornece outros recursos, como a regulagem do ângulo de disparo que pode variar de 0 a 180 graus por semi-ciclo, cobrindo assim todo o sinal senoidal. Dispõem-se ainda de uma entrada que controla a largura do pulso retangular das saídas que pode variar de 0 a 180 graus, além de outros recursos [31].

• ***555 - Astável*** : esse C.I. foi aqui implementado, em virtude dos sinais retangulares de saída do *TCA-785* não serem suficientes para assegurarem o disparo dos tiristores. Por isso, utilizando-se o C.I. *555* em configuração Astável [32], consegue-se gerar um trem de pulsos em sua saída durante o tempo em que o sinal retangular do *TCA-785* está em nível alto - pois este sinal habilita a saída do *555* enquanto está em nível alto, garantindo assim o disparo dos tiristores.

• ***DEMUX 74LS156*** : este C.I. que corresponde a um demultiplexador, funciona como uma chave seletora entre a aplicação de tensão nominal à carga e a aplicação de tensão com *Sag* à mesma. Assim, através de um dado de controle enviado pelo computador, faz-se o envio do sinal gerado pelo *555* ora ao par de tiristores responsável pela aplicação do sinal nominal à carga e ora ao par de tiristores responsável pela aplicação do sinal com *Voltage Sag*, quando da execução do ensaio.

Além disso, o *74LS156* evita o risco de haver a habilitação simultânea dos dois pares de tiristores, o que causaria um curto-circuito danificando os tiristores bem como o autotransformador.

Em ensaios de interrupção (tensão de carga zero), o demux é colocado em *tri-state* por um outro dado de controle.

• ***Transformador de Pulsos*** : funcionando como um isolador entre os sinais aplicados aos tiristores - secundário, e os sinais gerados pelo *555* - primário, este componente é o último passo para o disparo dos tiristores.

O circuito completo da interface de tiristores está representado na figura 5.

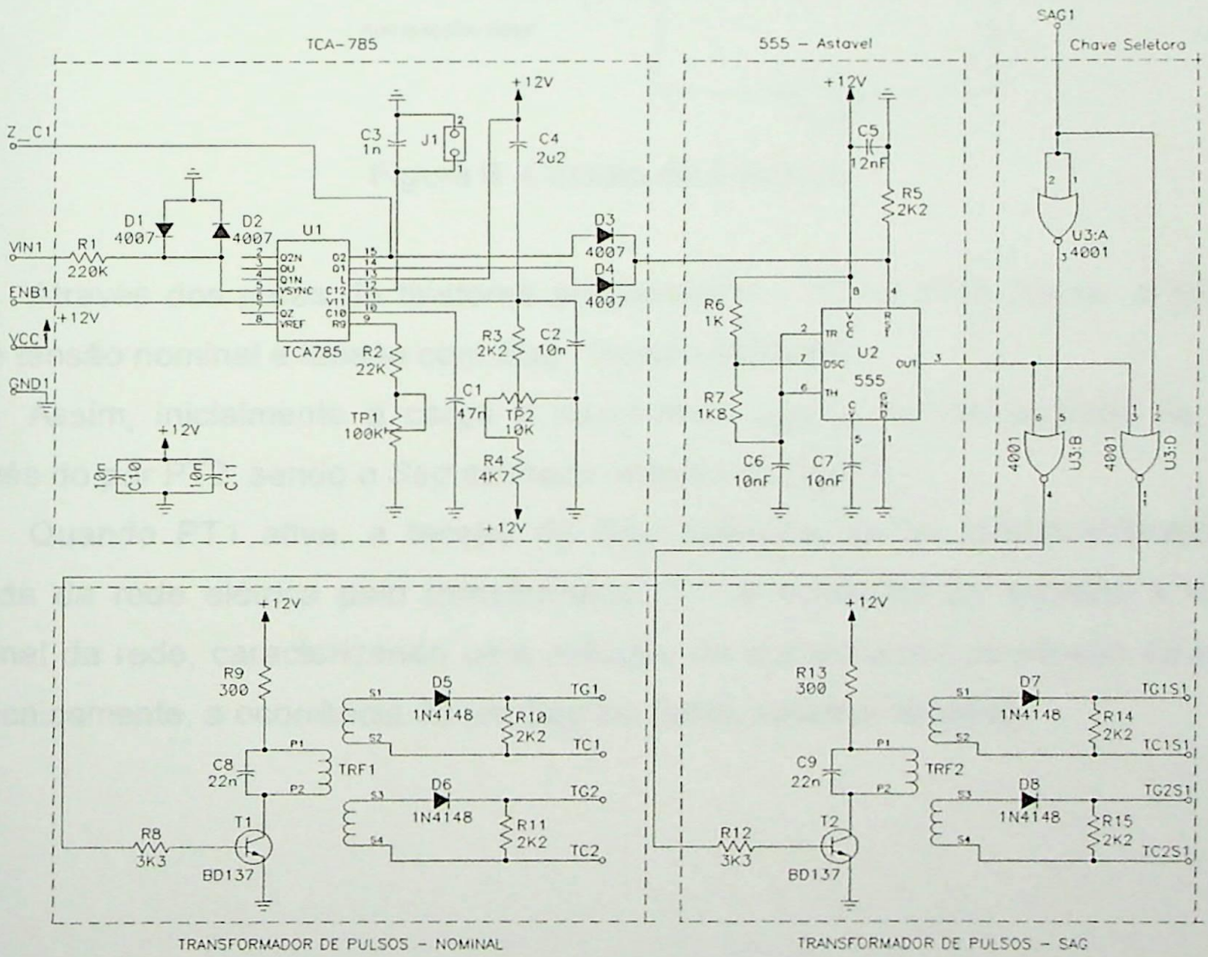


Figura 5 - Interface de Tiristores

- **Circuito de Potência**

O Circuito de Potência é formado basicamente pelo circuito da figura 6 [20]:

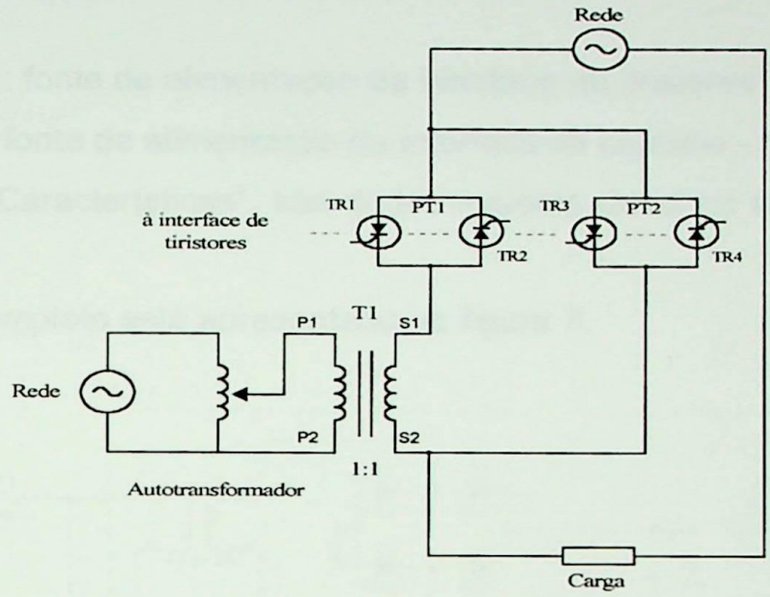


Figura 6 -Circuito de Potência

Através dos pares de tiristores antiparalelos - PT1 e PT2, faz-se a seleção entre tensão nominal e tensão com *Sag* - tensão reduzida.

Assim, inicialmente a carga é alimentada com a tensão nominal da rede, através do par PT2, sendo o *Sag* aplicado através do par PT1.

Quando PT1 ativa, a tensão de *Sag* estabelecida no autotransformador e isolada da rede elétrica pelo transformador T1, é subtraída ou somada à tensão nominal da rede, caracterizando uma redução ou um aumento da tensão na carga, ou tecnicamente, a ocorrência de um *Sag* ou *Swell*, respectivamente

- **Fontes de Alimentação**

Em virtude da isolação que deve haver entre os circuitos da interface de controle - circuito digital, e da interface de tiristores - circuito analógico, duas são as fontes de alimentação :

- **F1 - *+15 V***: fonte de alimentação da interface de tiristores;
- **F2 - *+5 V***: fonte de alimentação da interface de controle - nível TTL.

No tópico -"Características", são dados maiores detalhes sobre os possíveis valores para F1.

O circuito completo está apresentado na figura 7.

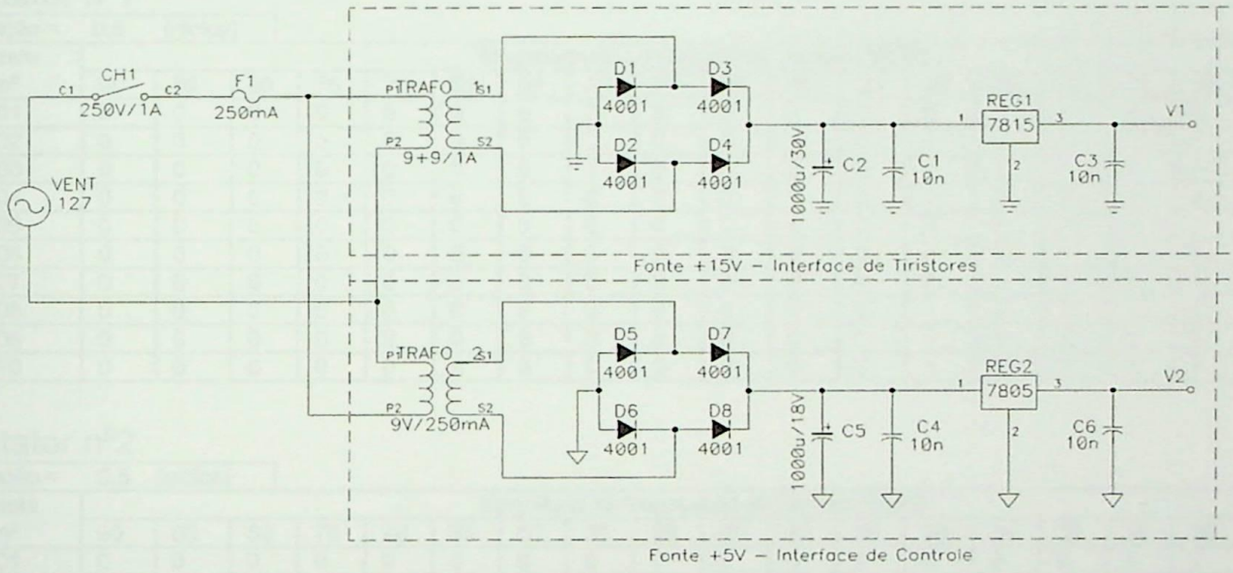


Figura 7- Circuito da Fonte de Alimentação

ANEXO 4

Exemplo de Aplicação

Considerando os Contatores da tabela 1:

Tabela 1 - Equipamento Testado

Equipamento Ensaiado	Contator
Marca/Modelo	SIEMENS 3TA 63 08-0A
Data do ensaio	4/11/97
Tensão Nominal	220V

Teste Nº1 - Duração 0,5 ciclos

Contator nº1

Duração = 0,5 (ciclos)

Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

Contator nº2

Duração = 0,5 (ciclos)

Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Contator nº3

Duração = 0,5 (ciclos)

Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Contator nº4

Duração = 0,5 (ciclos)

Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1

Para a duração de 0,5 ciclos tem-se:

% UN	Incidência	% Casos	% Normalizada
30	7	18	- 0,91
25	10	25	- 0,67
20	14	35	- 0,38
15	24	65	- 0,39
10	30	75	0,68

A partir destes dados encontra-se a melhor reta utilizando-se Regressão Linear, procedimento Mínimos Quadrados:

Y= -11,29X+17,99

Onde:
Y = Tensão
X = % normalizada

Para 90% de segurança tem-se segundo a tabela a freqüência normalizada, x=1,29 e para 0% x=-3,10, Portanto aplicando-se na equação acima vem:

Y = 3,42V e Y = 52,98V

Teste Nº2 - Duração 4 ciclos

Contator nº1

Duração = 4 (ciclos)

Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Contator nº2

Duração = 4 (ciclos)

Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Contator nº3

Duração = 4 (ciclos)

Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Contator nº4

Duração = 4 (ciclos)

Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Para a duração de 4 ciclos tem-se:

% UN	Incidência	% Casos	% Normalizada
55	0	0	--
50	10	25	- 0,675
45	10	25	- 0,675
40	11	27,5	- 0,6
35	35	87,5	1,155
30	40	100	--

A partir destes dados encontra-se a melhor reta utilizando-se Regressão Linear, procedimento Mínimos Quadrados:

$Y= -5,68X+41,37$

Onde:
Y = Tensão
X = % normalizada

Para 90% de segurança tem-se segundo a tabela a freqüência normalizada, x=1,29 e para 0% x=-3,10, Portanto aplicando-se na equação acima vem:

Y = 34,04V e Y = 58,97V

Teste Nº3 - Duração 30 ciclos

Contator nº1

Duração = 30 (ciclos)																	
Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Contator nº2

Duração = 30 (ciclos)																	
Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Contator nº3

Duração = 30 (ciclos)																	
Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Contator nº4

Duração = 30 (ciclos)																	
Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Para a duração de 30 ciclos tem-se:

% UN	Incidência	% Casos	% Normalizada
55	0	0	--
50	10	25	- 0,675
45	10	25	- 0,675
40	16	40	- 0,25
35	36	90	1,285
30	40	100	--

A partir destes dados encontra-se a melhor reta utilizando-se Regressão Linear, procedimento Mínimos Quadrados:

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca MAUÁ BIM

Y= -6,06X+42,02

Onde:
Y = Tensão
X = % normalizada

Para 90% de segurança tem-se segundo a tabela a freqüência normalizada, x=1,29 e para 0% x=-3,10, Portanto aplicando-se na equação acima vem:

Y = 34,20 V e Y = 60,80V

Teste Nº4 - Duração 120 ciclos

Contator nº1

Duração = 120 (ciclos)																	
Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Contator nº2

Duração = 120 (ciclos)

Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Contator nº3

Duração = 120 (ciclos)

Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Contator nº4

Duração = 120 (ciclos)

Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Para a duração de 120 ciclos tem-se:

% UN	Incidência	% Casos	% Normalizada
55	0	0	--
50	10	25	- 0,675
45	10	25	- 0,675
40	23	57,5	0,19
35	38	95	2,2
30	40	100	--

A partir destes dados encontra-se a melhor reta utilizando-se Regressão Linear, procedimento Mínimos Quadrados:

$Y = -4,3X+43.62$

Onde:
Y = Tensão
X = % normalizada

Para 90% de segurança tem-se segundo a tabela a freqüência normalizada, x=1,29 e para 0% x=-3,10, Portanto aplicando-se na equação acima vem:

Y = 38,07 V e Y = 56,97V

Teste Nº 5 - Duração 1000 ciclos

Contator nº1

Duração = 1000 (ciclos)																	
Teste	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
nº	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Contator nº2

Duração = 1000 (ciclos)																	
Teste	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
nº	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Contator nº3

Duração = 1000 (ciclos)																	
Teste	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
nº	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Contator nº4

Duração = 1000 (ciclos)																	
Teste nº	Magnitude da Depressão de Tensão (%UN)																
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Para a duração de 1000 ciclos tem-se:

% UN	Incidência	% Casos	% Normalizada
55	0	0	--
50	10	25	- 0,675
45	13	32,5	- 0,45
40	15	37,5	- 0,32
35	39	99	2,33
30	40	100	--

A partir destes dados encontra-se a melhor reta utilizando-se Regressão Linear, procedimento Mínimos Quadrados:

$Y = -3,81X + 43,34$

Onde:
Y = Tensão
X = % normalizada

Para 90% de segurança tem-se segundo a tabela a freqüência normalizada, x=1,29 e para 0% x=-3,10, Portanto aplicando-se na equação acima vem:

Y = 38,42 V e Y = 55,1V

Quadro resumo:

Tempo (ciclos)	VN(V) p/90%	VN(V) p/0%
0,5	3,42	52,98
4	34,04	58,97
30	34,20	60,80
120	38,07	56,97
1000	38,42	55,15

O Gráfico Resultante destes valores é o que segue:

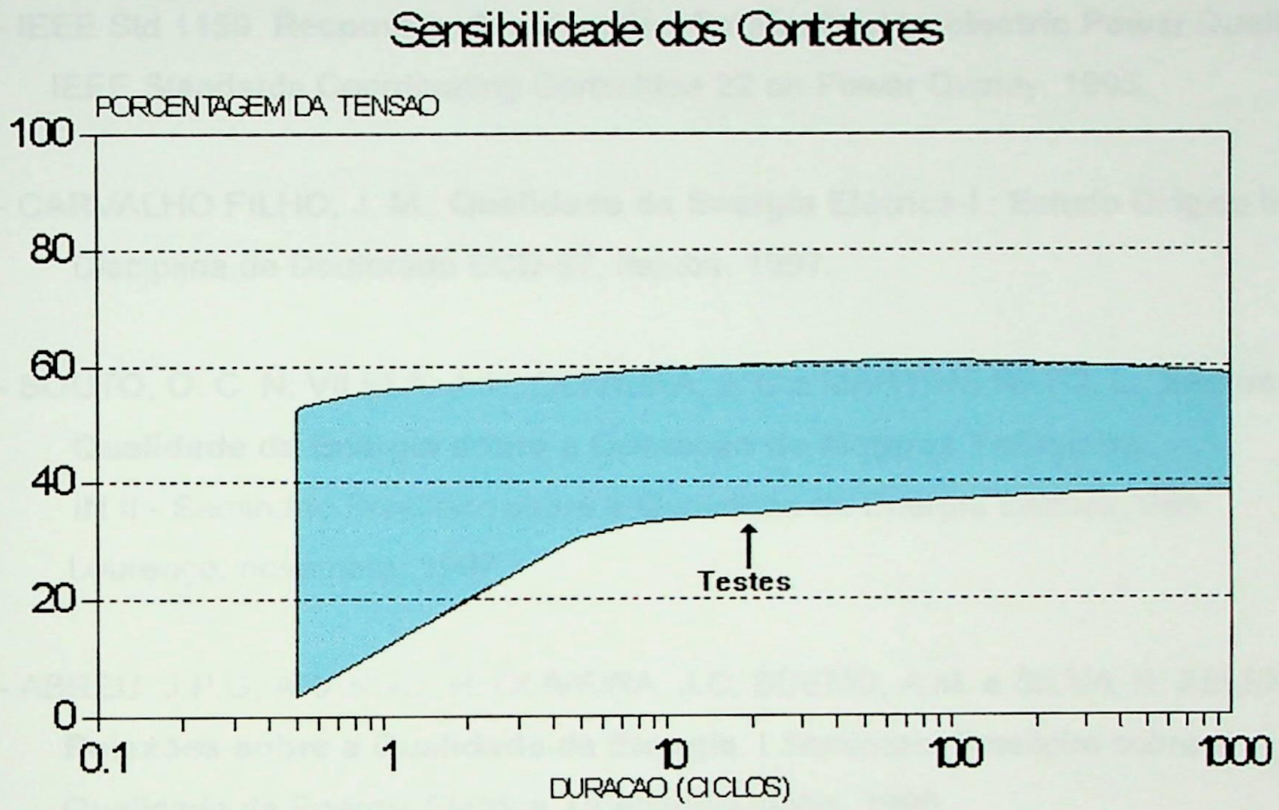


Figura 1 - Sensibilidade dos Contatores

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] - IEEE Std 1159 **Recommended Practice for Monitoring electric Power Quality** : IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality, 1995.

[2] - CARVALHO FILHO, J. M.; **Qualidade da Energia Elétrica-I** : Estudo Dirigido II : Disciplina de Doutorado ECD-97, Itajubá, 1997.

[3] - SOUTO, O. C. N; VILELA, J. H; OLIVEIRA, J. C e MARTINS NETO, L. **Efeitos da Qualidade da Energia sobre a Operação de Motores Trifásicos**. IN II - Seminário Brasileiro sobre a Qualidade da Energia Elétrica, São Lourenço, novembro, 1997.

[4] - ABREU, J.P.G; ARANGO, H; OLIVEIRA, J.C; BUENO, A.M. e SILVA, R. SELENIO. **Relexões sobre a Qualidade da Energia**. I Seminário Brasileiro sobre a Qualidade da Energia Elétrica, Uberlândia junho, 1996.

[5] - IEEE Std 446 **Recommended for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications**. IEEE Orange Book,1995.

[6] - MARTZLOFF, F. D; and GRUZS, T, M. Power Quality Site Surveys: Facts, Fiction, and Fallacies. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 24, n. 6, Nov/ Dec, 1988, p. 1005-1018.

[7] - LAMORRE, J; VINETT, P; JONES, W; and SAMOTYJ, M. Voltage Sag Analysis Case Studies. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 30, n. 4 July/August, 1994, p. 1083-1088.

[8] - WEG ELETROMOTORES. "Manual de Motores Elétricos". [Sl]: [Sn], [1990].

[9] - DUGAN, R. C; MCGRANAGHAN, M.F and BEATY, H. W. **Electrical Power Systems Quality**. McGraw-Hill, 1996.

[10] - WAGNER, V; GREBE, T; KRETSCHMANN, R; MORGAN, L; and AL PRICE. Power System Compatibility Process Equipment. **IEEE Industry Application Magazine**, Jan/Feb, 1996, p. 11-15.

[11] - MACGRANAGHAN, M. F; MUELLER, D. R; and SAMOTYJ, M. J. Voltage Sags in Industrial Systems. **IEEE Transaction on Industry Applications**, v. 29, n. 2, Mar/Apr, 1993, p. 397- 403.

[12] - IEEE PROJECT 1346 WORKING GROUP. Electric Power System Compatibility with Industrial Equipment - Part 1 - Voltage Sags, 1994.

[13] - Power System Reabillity Subcommittee Voltage Sag Working Group (Chairman: L. E. Conrad), Proposed Chapter 9 for Predicting Voltage Sags (Dips) in Revision to IEEE Std 493, The *Gold Book.* **IEEE Transaction on Industry Applications**, v. 30, n 3, May/June 1994, p. 805- 821.

[14] - CONRAD, L; LITTLE, K; GRIGG, C. Predicting and Preventing Problems Associated with Remote Fault- Clearing Voltage Dips. **IEEE transactions on Industry Applications**, v. 27, n1, Jan/Feb, 1991, p. 167-172.

[15] - KINDERMANN, G. **Curto-Circuito**. Porto Alegre: SAGRA-DC LUZZATTO, 1992.

[16] - ROSSI, R. **Apostila de Proteção de Sistemas Elétricos**. Itajubá: Fundação de Pesquisa e Asssessoramento à Indústria - FUPAI, 1991.

[17] - IEEE Std 446 **Recommended for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications**. IEEE Orange Book, 1974.

[18] - KEY, T.S. Diagnosing Power Quality - Related Computer Problems. **IEEE Transaction on Industry Applications**, v. 15, n 4 , Jul/Aug, 1979, p. 381- 393.

[19] - CALDON, R.; FAURI, M.; FELLIN, L. Voltage Sag effects on Continuos Industrial Processes: Desensitizing Study for Textile Manufacture. In D13:1 - D13:6. Study Committee 36 Colloquium and Meetings, Foz do Iguaçu,1995.

[20] - WAGNER, V. E; ANDESHAK, A. A; and STANIAK, J. J.P. Power Quality and Factory Automation. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 26, n. 4, Jul/Aug, 1990, p. 620-626.

[21] - ANDERSON, L. M e BOWES, K. The Effects of Power-Line Disturbances on Consumer Electronic Equipment. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v.5, n.2, Apr, 1990, p. 1062-1064.

[22] - GUNTHER, E. W and MEHTA, H. A Survey of Distribution System Power Quality Preliminary Results. **IEEE Transaction on Power Delivery**, v. 10, n. 1, Jan, 1995, p. 322-328.

[23] - BALESTRASSI, P. P. **Apostila de Probabilidade Estatística**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI , 1995.

[24] - ORTMEYER, T. H; HIYAMA, T and SALEHFAR, H. Power Quality Effects of Distribution System Faults. **Electrical Power & Energy Systems**, v. 18, n. 5, 1996, p. 323-329

[25] - SARMIENTO, H. G; ESTRADA,E. A Voltage Sag Study in an Industry with Adjustable Speed Drives. **IEEE Industry Application Magazine**, Jan/Feb,1996, p. 16-19.

[26] - FILHO, J. M. C; ABREU, J. P. G e VILAS-BOAS, F. M. Medidas Preventivas e Corretivas para Minimizar o Impacto de *Voltage Sags.*". II - In: I Seminário Brasileiro sobre a Qualidade da Energia Elétrica SBQEE, São Lourenço, nov, 1997.

[27] - RIBEIRO, P. F; KRAL, S. F and ASLAM, M. Integrated Power Quality Considerations of Superconducting Magnetic Energy Storage System, *WORKSHOP*, Uberlândia: jun. 1996.

[28] - MORGAN, R.L. Ride Through Issues for DC Motor Drives During Voltage Sags IEEE 1995.

[29] - STEVENSON, W. D. Elementos de Análise de Sistemas de Potência. Brasil:Mc Graw-Hill, 1975.

[30] - PAPPAS, CHRIS H.,1953, **Turbo C^{++} Completo e Total**. Brasil: Mc Graw-Hill, 1991.

[31] - CONHEÇA o Controle de Fase TCA785 (SIEMENS). Brasil: SIEMENS, **Saber Eletrônica**, n 281, 1996, p. 69-74.

[32] - MALVINO, A. P. Eletrônica. Brasil: Mc Graw-Hill,1987