Leonardo ENERGY em português

lambda

abracopel
Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade

O PORTAL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

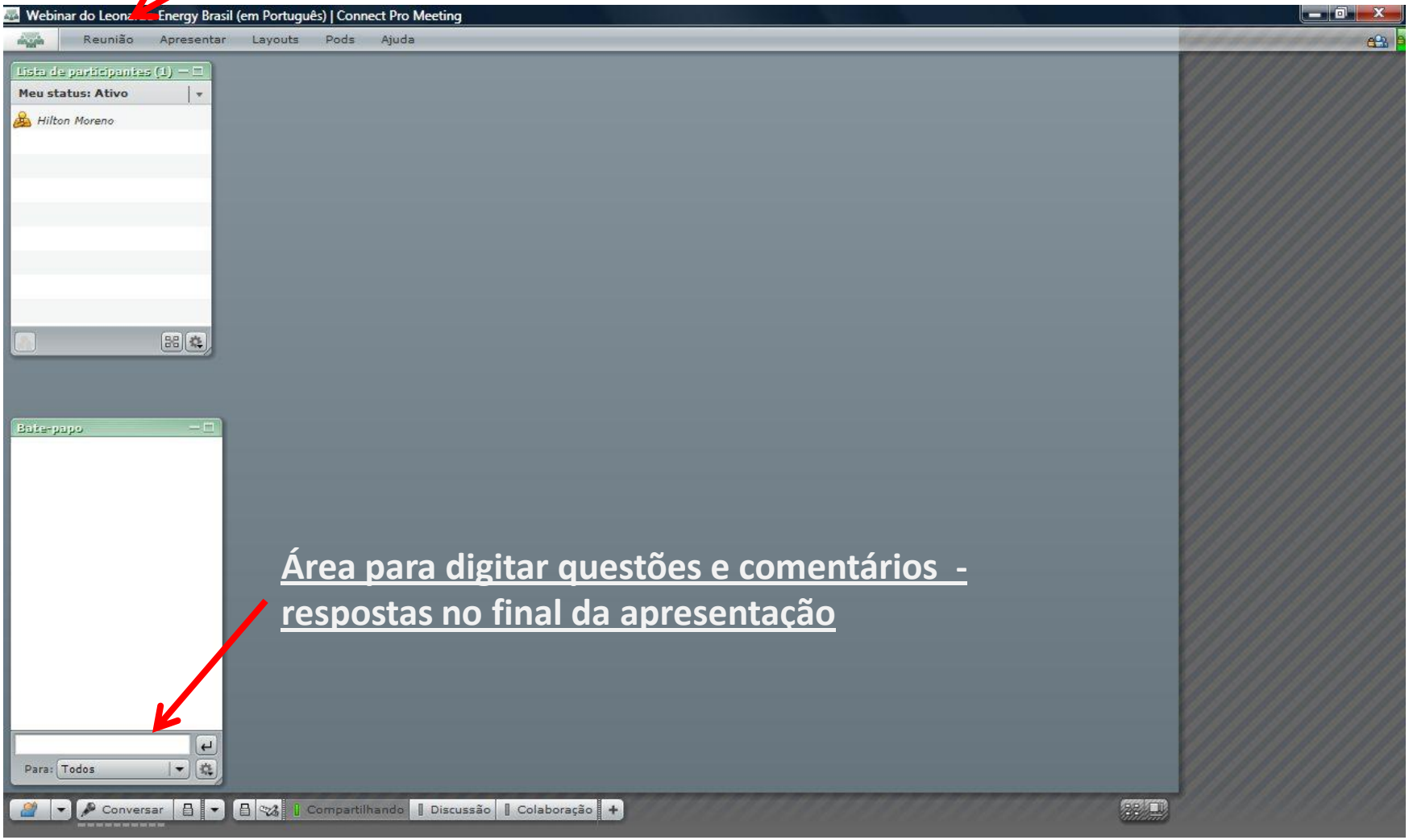
BEM-VINDO AO WEBINAR

DISTÚRBIOS DA ENERGIA ELÉTRICA

Palestrante: Engº Edson Martinho
Lambda Consultoria / Abracopel

Moderador: Engº Hilton Moreno

Teste de som: Reunião ➔ Gerenciar minhas configurações ➔ Assistente de configuração de áudio



Área para digitar questões e comentários - respostas no final da apresentação

Leonardo ENERGY em português

lambda

abracopel
Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade

O PORTAL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

REGRAS DO WEBINAR:

- **Perguntas e/ou comentários são feitas unicamente por escrito, utilizando-se o campo apropriado;**
- **Perguntas e/ou comentários podem ser enviadas durante o desenvolvimento da apresentação, mas serão respondidas somente após o final da mesma;**
- **Pode acontecer que, dependendo do número de perguntas e do tempo disponível, algumas perguntas fiquem sem resposta durante o webinar;**
- **Se houver interrupção inesperada do webinar, certifique-se que sua conexão com a internet está funcionando normalmente e tente novamente a conexão;**
- **Não é emitido certificado de participação no webinar.**

Leonardo ENERGY em português

lambda

abracopel
Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade

O PORTAL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

PALESTRANTE:

Edson Martinho

Engenheiro Eletricista, pós-graduado em Marketing e Docência do Ensino Superior.

Autor do livro "Distúrbios da Energia Elétrica - Editora Erica".

Fundador e atual diretor-executivo da Abracopel.

Palestrante em diversos seminários e colaborador das revistas O Setor Elétrico e Lumière.

ENERGIA ELÉTRICA

- Imprescindível
- Qualidade depende da compatibilidade entre fonte e equipamento
- Qualidade participa da eficiência da produção, da eficiência da energia elétrica e do resultado financeiro.
- Contribui para a segurança dos usuários.

PADRÃO IDEAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Tensões e correntes senoidais (THDv=0 e THDi=0)

Freqüência constante ($\Delta f=0$)

Tensão constante em seu valor nominal ($\Delta V=0$)

Continuidade de serviço (DEC, FEC=0)

Sem fenômenos transitórios

VARIOS TIPOS DE DISTÚRBIOS ACONTECEM NA ENERGIA ELÉTRICA

- **Variação de curta duração:**
  - **Momentânea**
  - **Temporária**
  - **Permanente**
- **Variação de longa duração:**
  - **Interrupção Sustentada**
  - **Subtensão Sustentada**
  - **Sobretensão Sustentada**
- **Afundamento de tensão (SAG)**
- **Elevação de tensão (SWEL)**
- **Surto de Tensão (spike)**
- **Harmônica**
- **Inter-harmônica**
- **Flicker**
- **Redução de fator de potência**
- **Compatibilidade eletromagnética**
- **Distúrbios**
- **Ruído**
- **Sobretensão (*overvoltage*)**
- **Subtensão (*undervoltage*)**
- **Transitório ou transientes:**
  - **Impulsivo**
  - **Oscilatório**
- **Notching**
- **Variação de freqüência**
- **Flutuação ou oscilação de freqüência**
- **Desequilíbrio de tensão**

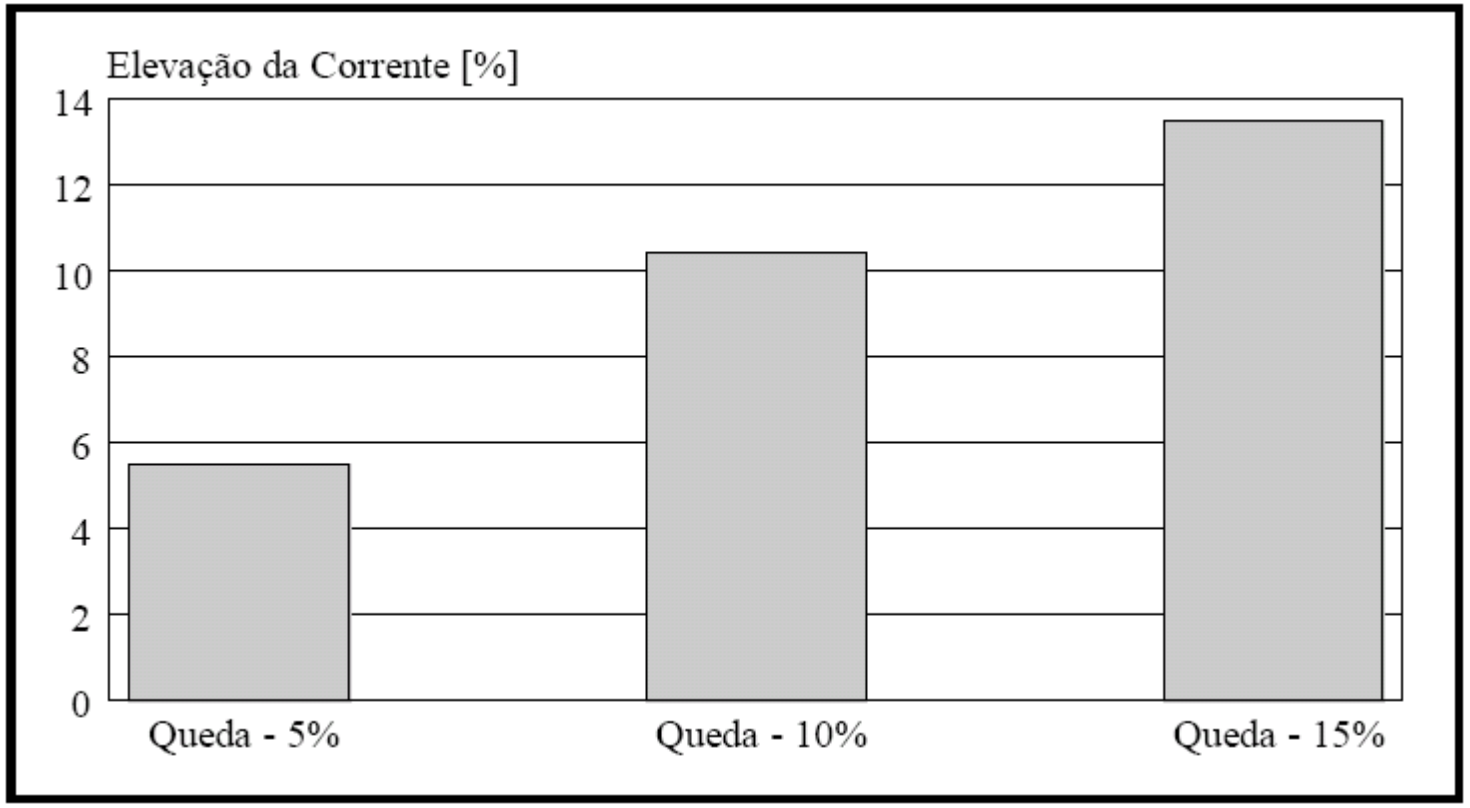
VARIAÇÃO TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

- A variação de tensão de curta duração pode ocorrer por um decréscimo ou acréscimo de tensão por um período que compreende entre 0,5 ciclo e 1 minuto
- São conhecidos popularmente por SAG, DIP ou Afundamento e SWEL, SURGE ou Elevação de Curta Duração.

O que causa a variação de tensão?

- Energização e desenergização de cargas elevadas, de capacitores;.
- Curto circuitos (fase-terra)na linha;
- Dispositivos de regulação de tensão;
- Etc.

Elevação de corrente x queda de tensão

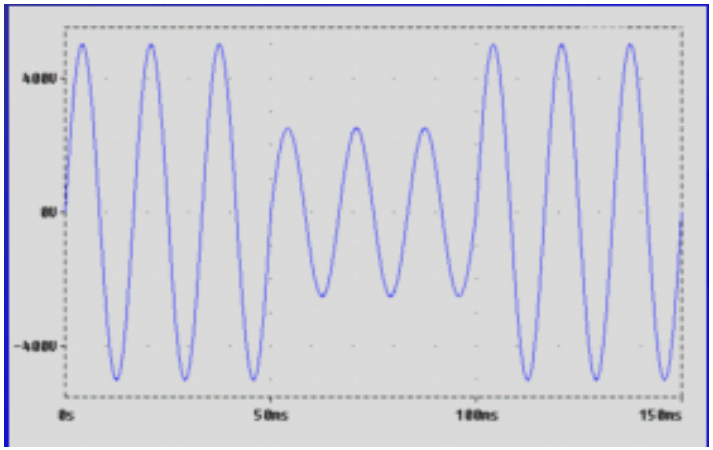


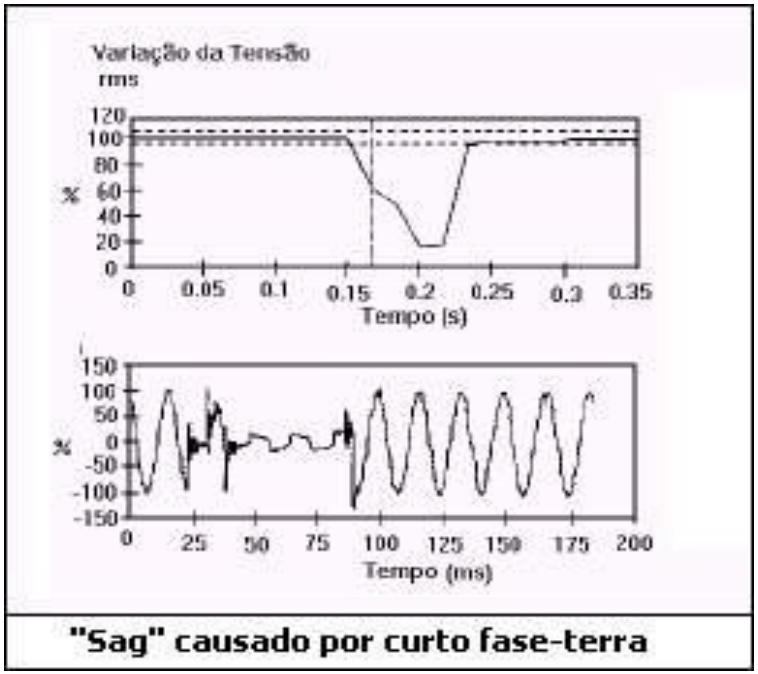
Cai a tensão, sobe a corrente = aquecimento

Motor de indução de 5CV

VOLTAGE SAG

- Uma queda de tensão de curta duração.
- É caracterizada por uma redução no valor eficaz da tensão, entre 0,1 e 0,9 pu, na freqüência fundamental, com duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto.
- A figura ao lado ilustra uma subtensão de curta duração típica, causada por uma falta fase-terra. Observa-se um decréscimo de 80% na tensão por um período de aproximadamente 3 ciclos, até que o equipamento de proteção da subestação opere e elimine a corrente de falta.



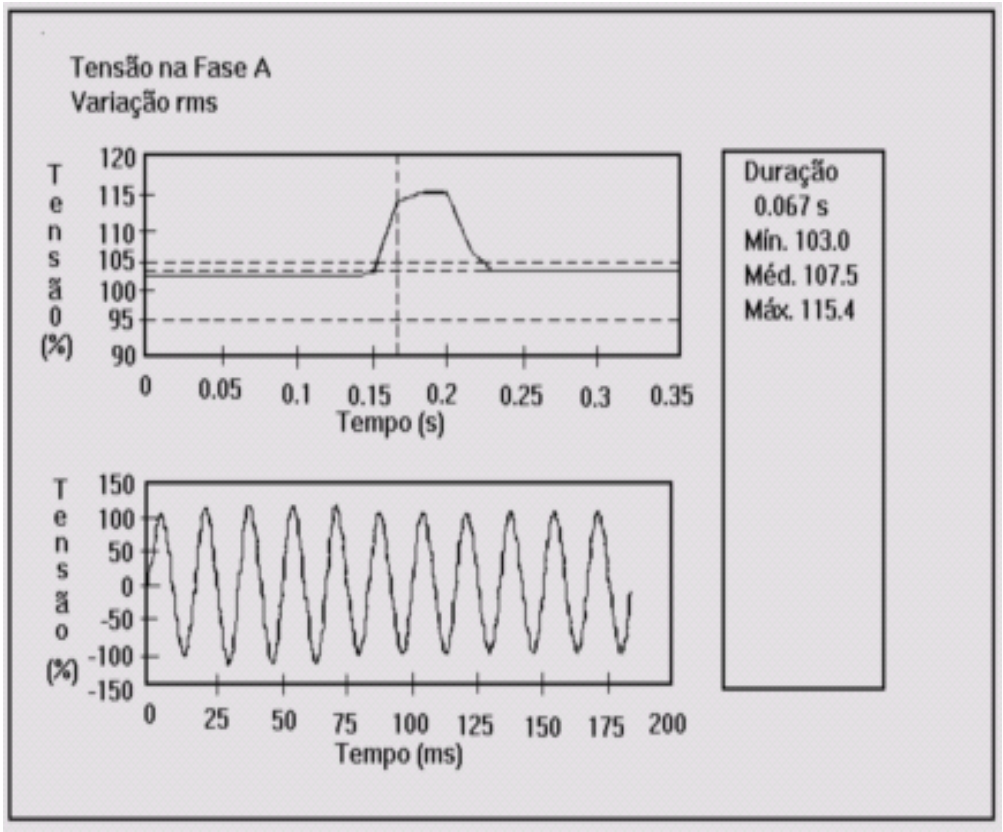


"Sag" causado por curto fase-terra

VOLTAGE SWELL

- Uma sobretensão de curta duração ou "swell" é definida como um aumento entre 1,1 e 1,8 pu na tensão eficaz, na freqüência da rede, com duração entre 0,5 ciclo a 1 minuto.

- A figura ao lado ilustra um "swell" causado por uma falta fase-terra. Este fenômeno pode também estar associado à saída de grandes blocos de cargas ou à energização de grandes bancos de capacitores.



VARIAÇÃO TENSÃO DE LONGA DURAÇÃO

- A variação de tensão de longa duração pode ocorrer por um decréscimo ou acréscimo de tensão por um período maior que 1 minuto
- São conhecidos popularmente por OVERVOLTAGE ou SOBRETENSÃO e UNDERVOLTAGE ou SUBTENSÃO ou ainda por afundamento e elevação de longa duração

SOBRETENSÃO

- Caracterizado pelo aumento da tensão RMS em mais que 110 % na freqüência fundamental e uma duração maior que 1 minuto

Overvoltage:

SUBTENSÃO

- Caracterizado pelo decréscimo da tensão RMS para valores menor que 90 % na freqüência fundamental e uma duração maior que 1 minuto

SOLUÇÃO

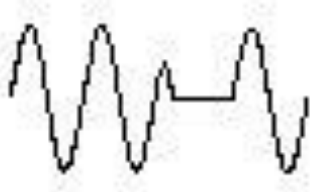
- Condicionadores de energia;
- Separação de circuitos;
- Redimensionamento de rede e circuitos;

INTERRUPÇÃO

- A interrupção é caracterizada pela ausência total de tensão que pode ocorrer por alguns milissegundos chegando a vários minutos. É dividida em Momentânea, Temporária e de Longa Duração.

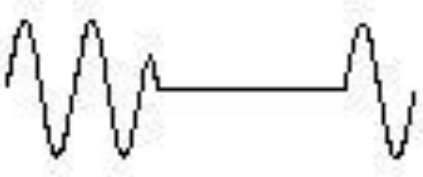
INTERRUPÇÃO MOMENTÂNEA

- É caracterizada pela ausência da tensão por um período que compreende entre 0,5 e 3 segundos.



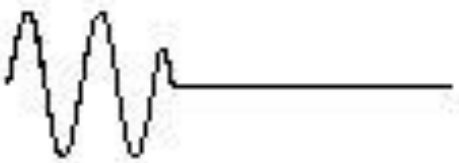
INTERRUPÇÃO TEMPORÁRIA

- É caracterizada pela ausência da tensão por um período que compreende entre 3 segundos e 1 minuto



INTERRUPÇÃO DE LONGA DURAÇÃO

- É caracterizada pela ausência da tensão por um período que maiores que 1 minuto.



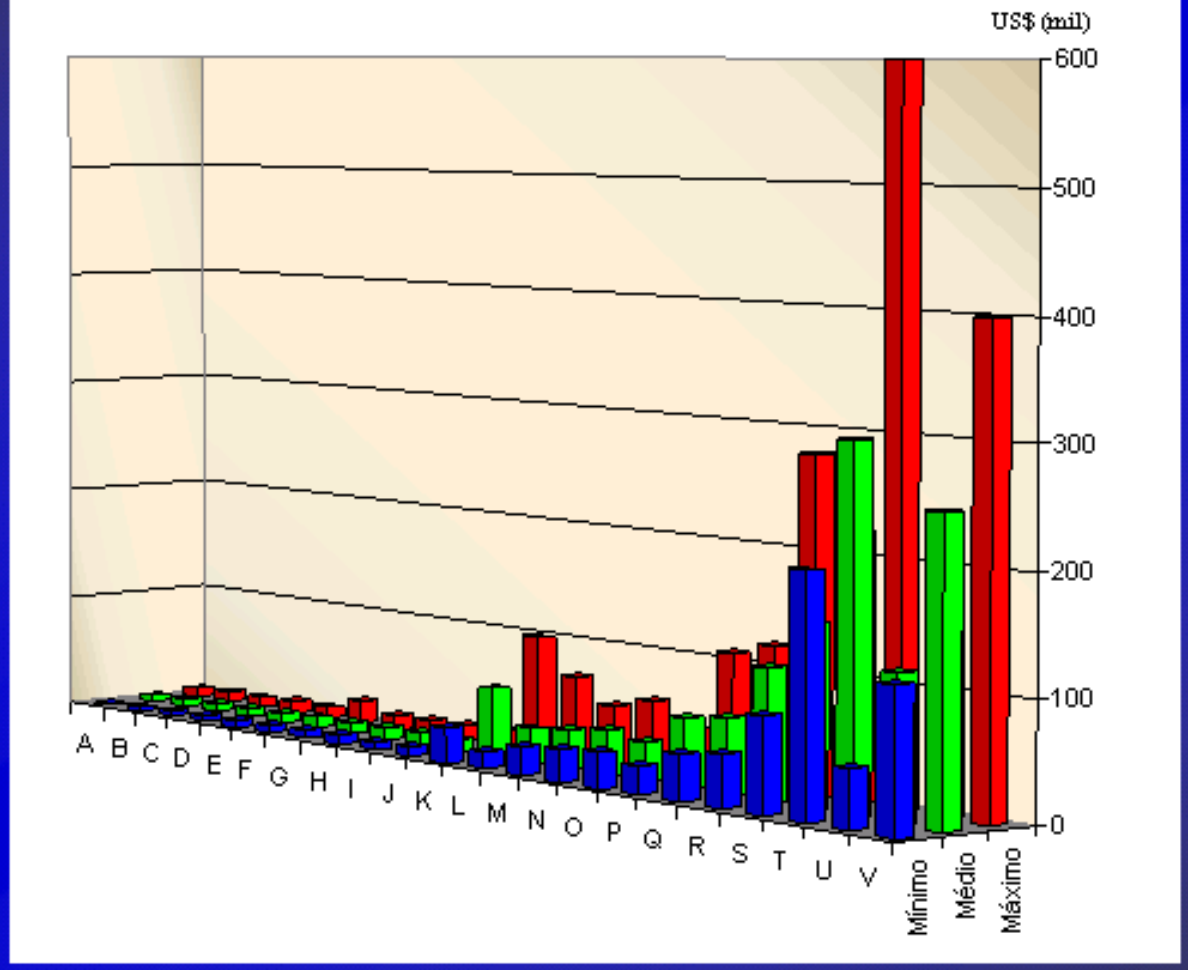
CAUSA

- Falta temporária;
- Acionamento de dispositivos de segurança;
- Descargas atmosféricas;
- Queda de galhos em arvores;
- Curto circuito fase – terra;
- Acionamento de religadores;

EFEITO

- Desligamento de equipamentos eletro-eletrônicos;
- Queima ou perda de dados eletrônicos (disco rígido corrompido);
- Reinicialização de maquinas eletrônicas (computadores, PLC etc);
- Falha em fonte chaveada;
- Atuação de proteção;
- Parada de máquina;
- Impacto econômico.

Custo estimado para interrupção de até 1 minuto



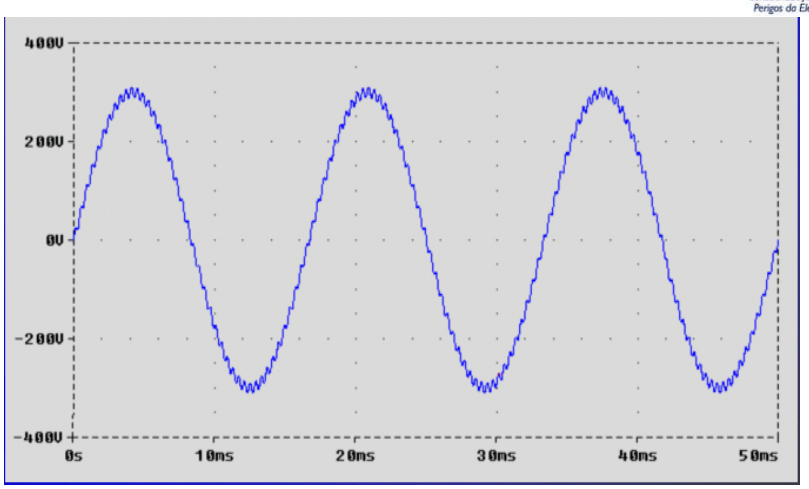
A - Saúde
B - Gás
C - Papel
D - Orgãos Públicos
E - Transportadoras
F - Comércio Atacadista
G - Madereiras
H - Químicas
I - Plásticos/Borrachas
J - Extração de Petróleo
K - Produtos Alimentícios
L - Computadores
M - Engenharia
N - Equip. de Transporte
O - Orgãos de Financiamento
P - Centros de Negócios
Q - Mineração
R - Equip. Eletrônicos
S - Equip. Instrumentação
T - Refinarias de Petróleo
U - Siderúrgicas
V - Textil

SOLUÇÃO

- Nobreak;
- Geradores;
- Outras fontes de energia;
- Separação de circuitos;
- Redimensionamento de circuitos;

RUÍDO

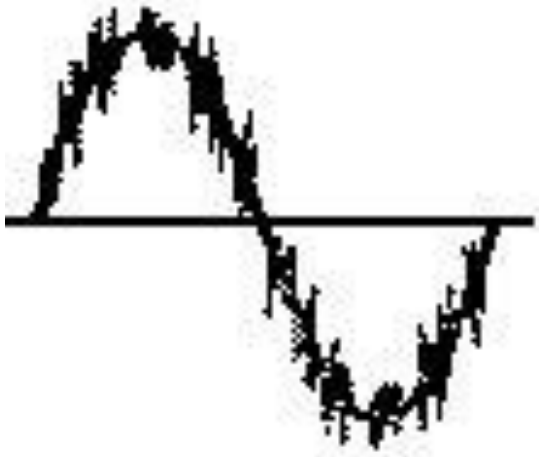
O ruído é caracterizado por um sinal elétrico com freqüência menor que 200 Khz superposto no sinal de potência (tensão ou corrente) nos condutores fase, ou também encontrados no neutro ou linhas de signal.



São divididos por duas categorias:

Ruído de modo comum – ocorre entre neutro e terra

Ruído de modo normal – ocorre entre fases



CAUSA

- Chaveamento de equipamentos de potência;
- Indução de sinais de freqüência;
- Dispositivos a arco;
- Aterramento mal feito ou impróprio.

EFEITO

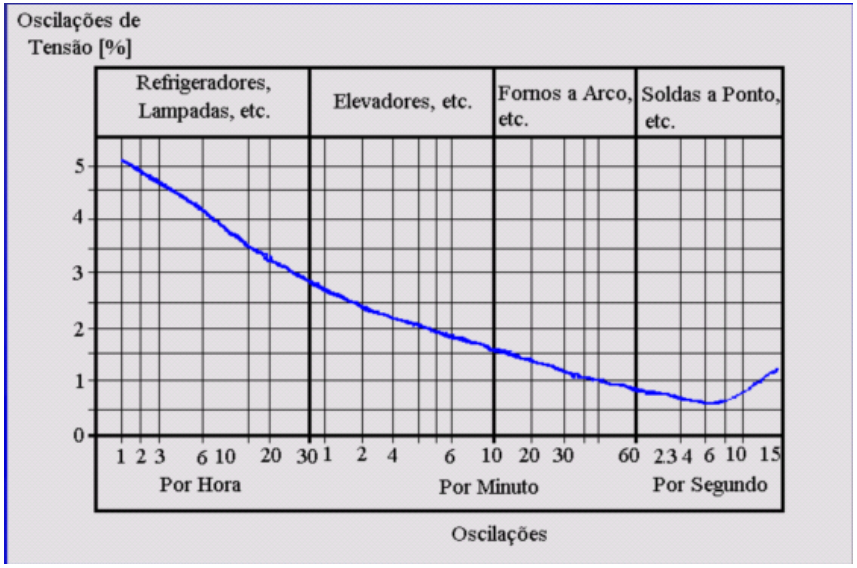
- Mal funcionamento de equipamentos eletrônicos;
- Perda ou alteração de dados digitais;

SOLUÇÕES

- Uso de filtros;
- Separação física da fonte geradora e prejudicada;
- Aterramento correto e equalização de potenciais.

FLICKER

- **FLICKER, interferências de alta freqüência que se propagam pela rede e cujo efeito mais conhecido é a cintilação em lâmpadas fluorescentes ou de descarga.**
- **Parâmetros de identificação:**
  - **Pst (Probability Short Term)** Indica Severidade dos níveis de cintilação associados à flutuação de tensão verificada em um período contínuo de 10 minutos.
  - **Plt (Probability Long Term):** Indica a severidade dos níveis de cintilação associados à flutuação de tensão num período contínuo de 2 horas, obtidos a partir dos registros de Pst.



CAUSA

- ***Fontes Geradoras de Flutuação de Tensão***
  - Aleatórias / intermitentes:
- ***Fornos a Arco***
  - Carga desequilibrada, intermitente, consumidor de reativos
- ***Forno de indução***
- ***Máquinas de Solda***
- ***Inter-harmônicos***
- ***Laminadores***
- ***Elevadores de Minas***
- ***Ferrovias***
  - Esporádicas:
  - Partidas de Motores

EFEITO

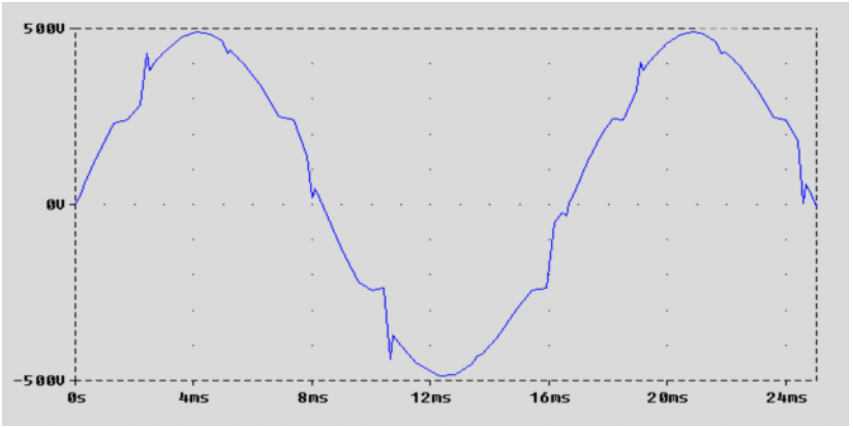
- Cintilação em lâmpadas;
- Problemas de operação em máquinas sensíveis;

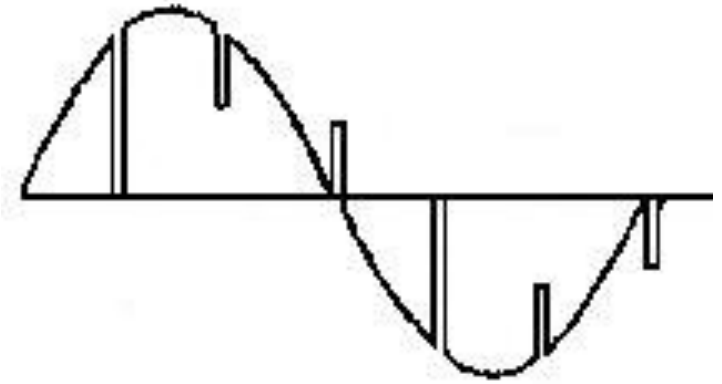
Solução

- Separação das cargas
- Uso de Compensador estático de reativo
  - (banco de capacitor com controles tiristorizados que mantém a tensão estável pelo fornecimento de Var – também ajuda na redução de harmônicas)
- Uso de forno a arco DC – Reduz o efeito do Flicker

EFEITO NOTCHING

distúrbio de tensão causado pela operação normal de equipamentos de eletrônica de potência quando a corrente é comutada de uma fase para outra. Este fenômeno pode ser detectado através do conteúdo harmônico da tensão afetada. As componentes de freqüência associadas com os "notchings" são de alto valor e, desta forma, não podem ser medidas pelos equipamentos normalmente utilizados para análise harmônica.





DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

- O desequilíbrio de tensão em um sistema elétrico trifásico é uma condição na qual as fases apresentam tensão com módulos diferentes entre si, ou defasagem angular entre as fases diferentes de 120° elétricos ou, ainda, as duas condições simultaneamente.
- Sabe-se que a presença de cargas trifásicas desequilibradas conectadas a um sistema trifásico causa um desequilíbrio de tensão, uma vez que as correntes absorvidas nas três fases não são simétricas, isto é, não são iguais em módulo nem tão pouco defasadas de 120°.
- Normalmente, em sistemas de alta tensão não existem grandes desequilíbrios, exceto quando alimentam instalações com cargas monofásicas de grande porte, tais como trens com tração elétrica ou fornos elétricos monofásicos.

CAUSA

- ***Fornos de Indução;***
- ***Fornos a Arco;***
- ***Linhas com Parâmetros Desequilibrados ;***
- ***Cargas Monofásicas distribuídas de forma não linear;***
- ***Existência de linhas de transmissão mal transpostas, pois as características elétricas destas linhas não serão uniformes no seu percurso.***

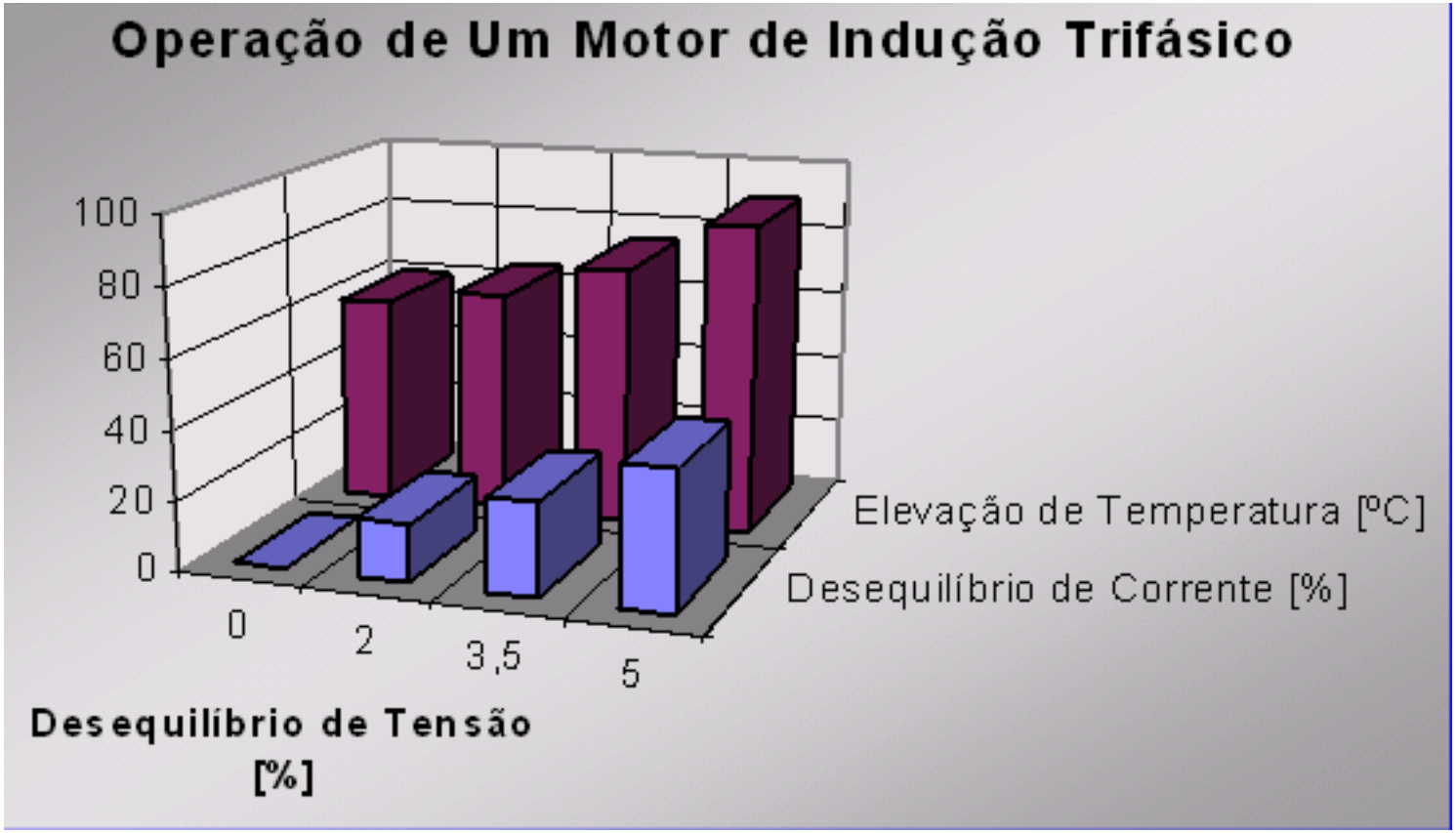
EFEITO

- Sobreaquecimento das linhas e equipamentos (motores, transformadores);
- Mal funcionamento de dispositivos de proteção;
- Redução de vida útil das linhas e dos equipamentos ligados a ela.

SOLUÇÃO

- Re-adequação das cargas monofásicas;
- Re-adequação de fornos de indução;
- Eliminação do desequilíbrio;

Efeito do desequilíbrio de tensão na corrente e temperatura em um motor trifásico de indução



TRANSIENTE

- O transiente ou transitório como são conhecidos, é caracterizado por um distúrbio de curta duração que ocorre na forma de onda e pode ser classificado por:
  - Transiente impulsivo
  - Transiente Oscilatório que é divido em
    - Baixa freqüência
    - Média freqüência
    - Alta freqüência

SURTO DE TENSÃO OU SPIKE

- O surto de tensão - Spike é caracterizado pelo drástico aumento instantâneo da tensão da rede elétrica.

Causa

- Podem ocorrer na energização de fontes chaveadas, como fontes de computadores pessoais;
- Chaveamento de cargas.

EFEITO

- Pode provocar a queima de placas de computadores e de rede, HD, fontes de alimentação, hubs, fiação de rede, telefones, modems etc.

SOLUÇÃO

- Dispositivos de proteção contra sobretensão

VARIAÇÃO DE FREQÜÊNCIA

- É definida como sendo desvios no valor da freqüência fundamental deste sistema (50 ou 60Hz). A freqüência do sistema de potência está diretamente associada à velocidade de rotação dos geradores que suprem o sistema. Pequenas variações de freqüência podem ser observadas como resultado do balanço dinâmico entre carga e geração no caso de alguma alteração (variações na faixa de 60 ± 0,5Hz).
- Em sistemas isolados, entretanto, como é o caso da geração própria nas indústrias, na eventualidade de um distúrbio, a magnitude e o tempo de permanência das máquinas operando fora da velocidade, resultam em desvios da freqüência em proporções mais significativas.

CAUSA

- Falha de regulação no gerador;
- Desconexão de grandes blocos de cargas;
- Desconexão de uma fonte geradora grande.

EFEITO

- Falha em equipamentos sensíveis.

SOLUÇÕES

- Controle da geração;
- Separação de circuitos ou adequação da rede.

HARMÔNICA

- Corrente harmônica aumenta a corrente eficaz, que aumenta a potência aparente consumida, sem aumentar a potência ativa, portanto desperdício de energia.
- Assim o FP deve levar em conta as harmônicas.

DEFINIÇÃO DE HARMÔNICAS

- Deformação de uma senóide fundamental, por meio de outras senóides com freqüência e amplitude diferentes e divididas em ordens: 2ª, 3ª, 4ª, 5ª etc.

✓ Harmônicas Pares

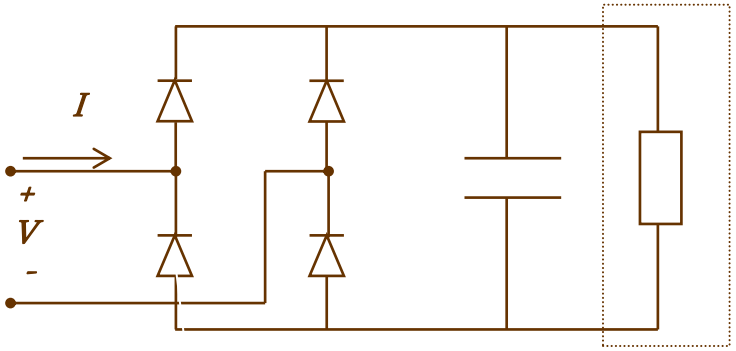
- Existem devido a presença de componente contínuo causando assimetria do sinal.

✓ Harmônicas Ímpares

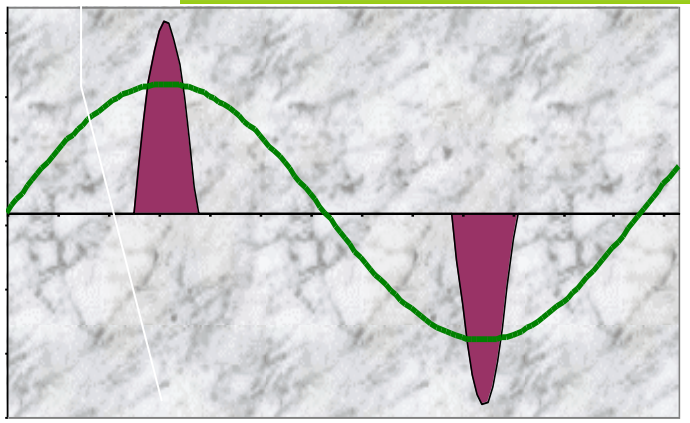
- Existem em todas as instalações elétricas e são as causadoras de problemas na energia.

HARMÔNICAS DE CORRENTE

Fonte de Tensão CC Monofásica



Causa da Não Linearidade

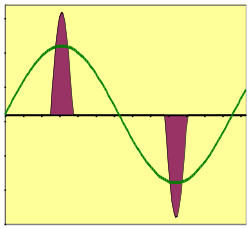


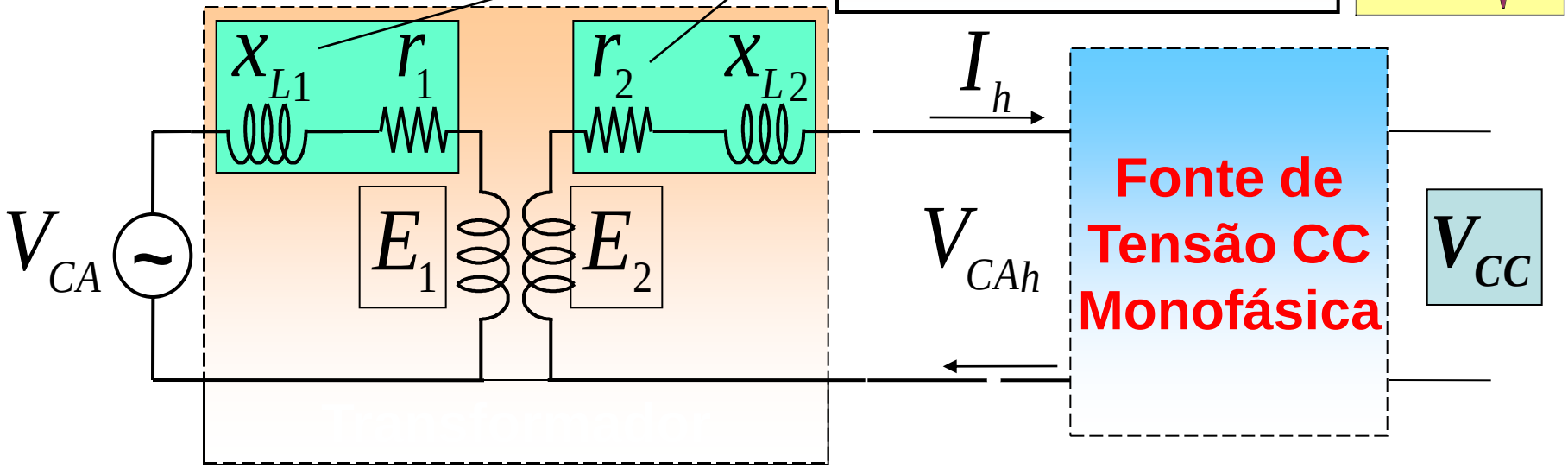
Dispositivo Não Linear

HARMÔNICAS DE TENSÃO

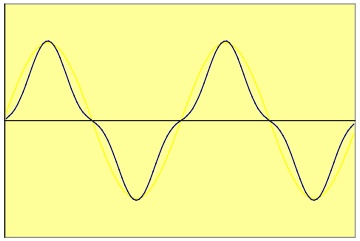
Queda de tensão

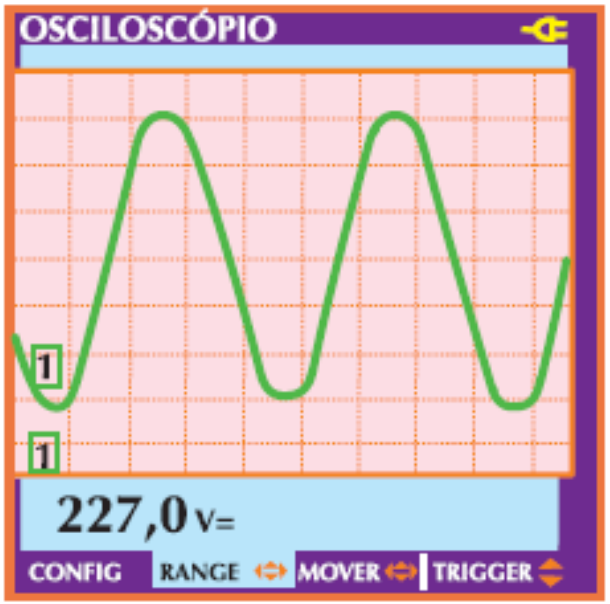
$$V_h = V_{in} - I \cdot Z_{eq}$$



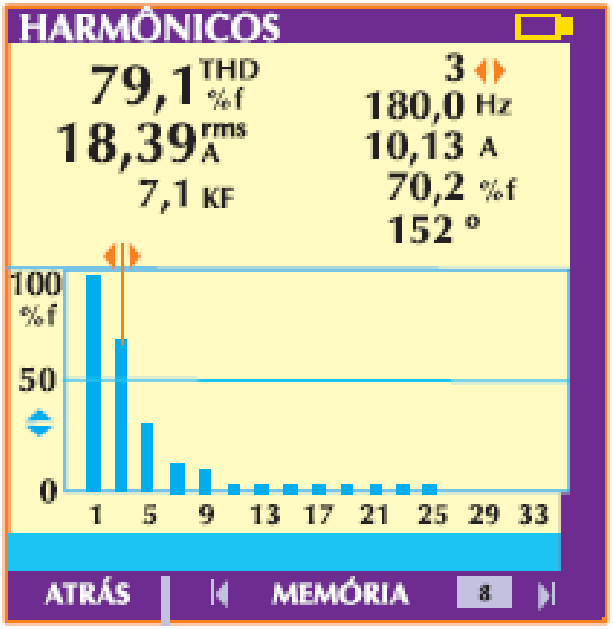


Demais Cargas



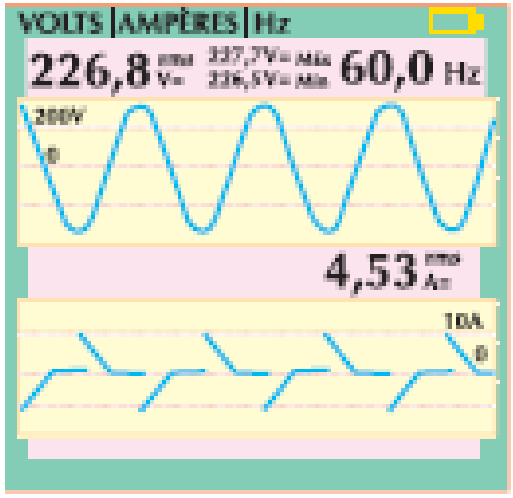


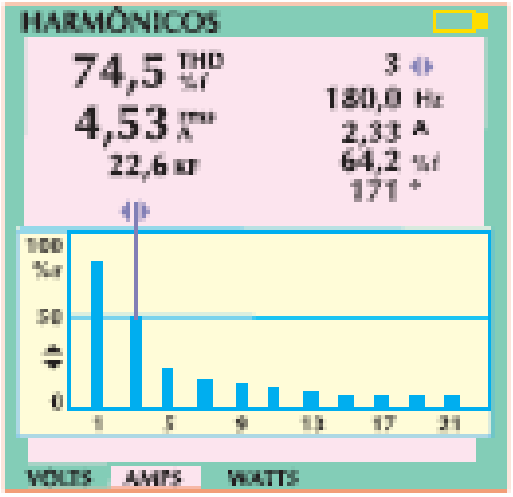
Sinal senoidal



Sinal com harmônicas

GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS





- ✓ VALOR EFICAZ
- ✓ VALOR DE PICO
- ✓ FATOR DE CRISTA
- ✓ FATOR DE POTÊNCIA E COSØ
- ✓ VALOR MÉDIO

DISTORÇÃO HARMÔNICA INDIVIDUAL (THDi)

Quantifica o conteúdo de uma harmônica existente em um dado ponto da instalação.

$$THDi = \frac{h_i}{h_1} \times 100\%$$

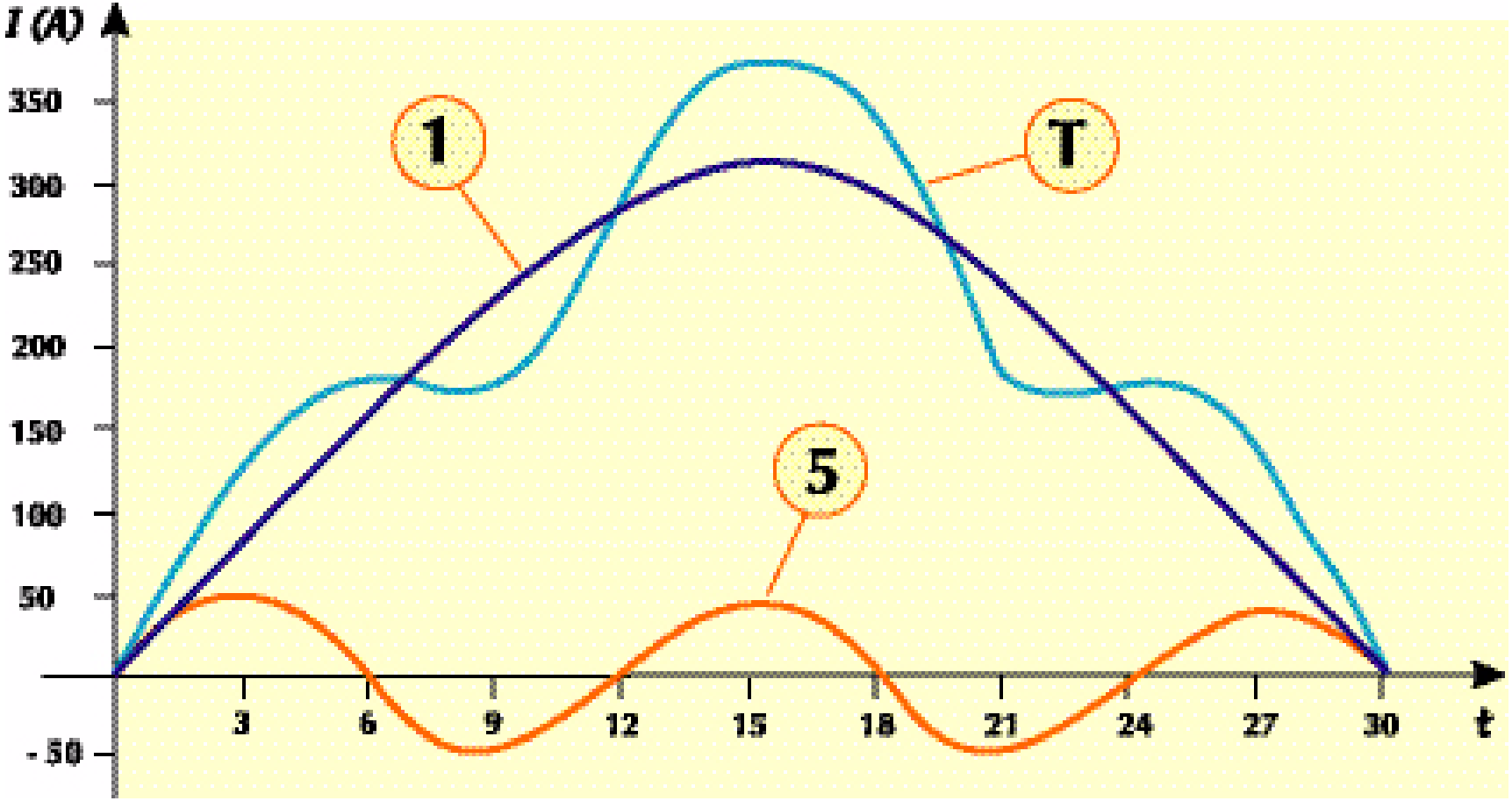
h = valor eficaz do sinal

DISTORÇÃO HARMÔNICA TOTAL (THD)

$$THD = \frac{\sqrt{(h_2)^2 + (h_3)^2 + (h_4)^2 + \ldots + (h_n)^2}}{h_1} \times 100\%$$

VALOR DE PICO

FATOR DE CRISTA = Vpico / Vef



FATOR DE POTÊNCIA & COSφ

✓ FATOR DE POTÊNCIA = FP ➔ FUNDAMENTAL + HARMÔNICAS

✓ Cosφ ➔ FUNDAMENTAL E CADA HARMÔNICA

✓ SEM HARMÔNICAS ➔ FP = Cosφ

✓ COM MUITAS HARMÔNICAS FP ≈ Cosφ

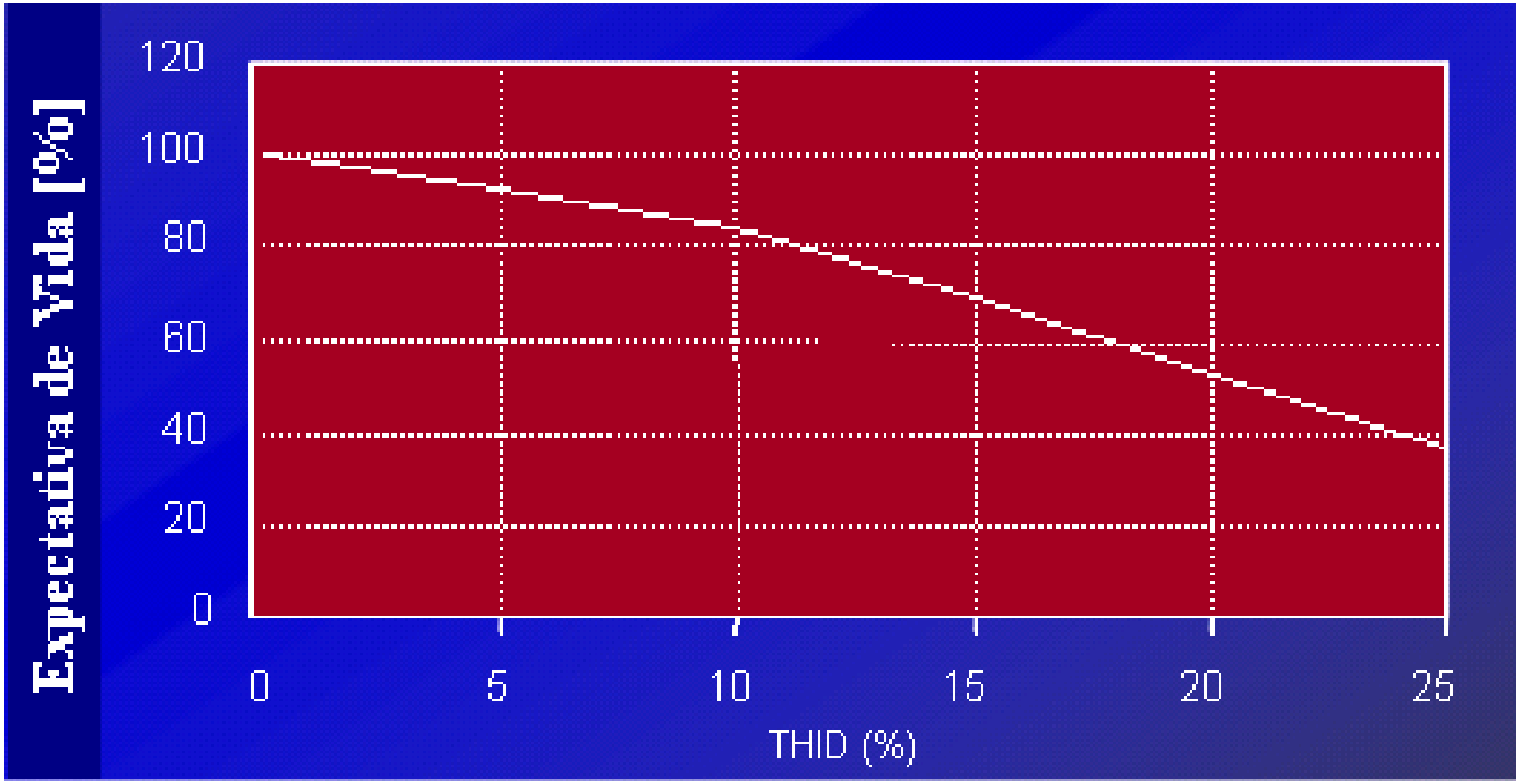
VALOR MÉDIO

$$VM = \frac{\text{VALOR EFICAZ}}{\beta}$$

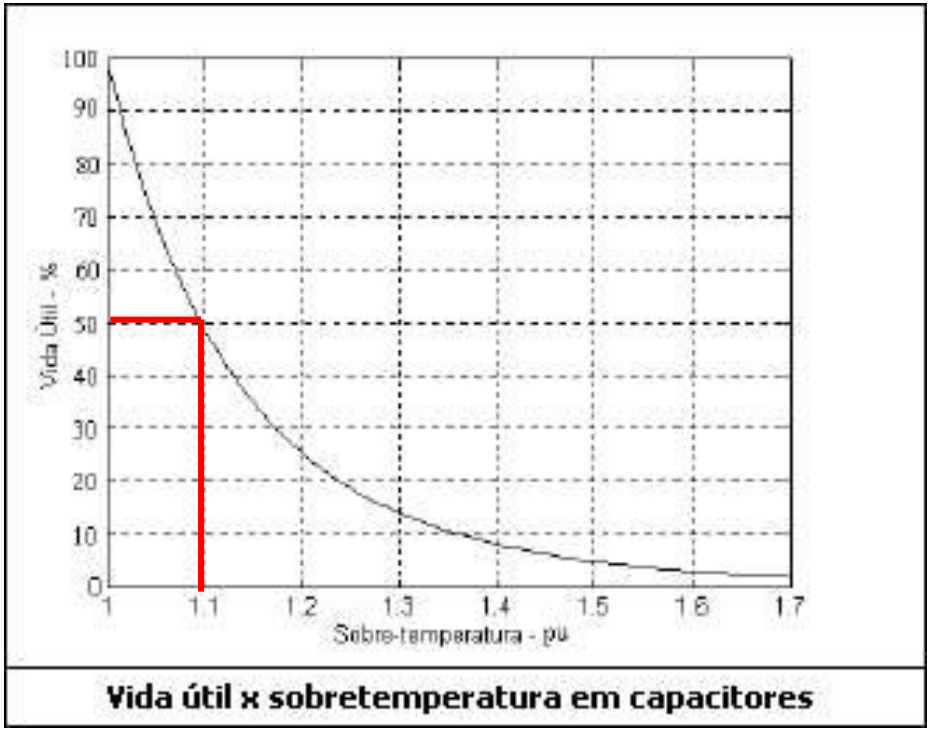
- ✓ SENÓIDE COMPLETA ➔ VM = 0
- ✓ ½ SENÓIDE ➔ β = 1,11
- ✓ OUTROS SINAIS (COM HARMÔNICAS) ➔ β = 1,11

APARELHO CONVENCIONAL × APARELHO TRUE-RMS

Vida útil de condutor na presença de harmônica



O gráfico abaixo mostra a diminuição da vida útil de um capacitor em função da sobretemperatura que ele é submetido. Sobretemperatura que pode ser causada pelo efeito das harmônicas no circuito.



Vida útil x sobretemperatura em capacitores

O efeito das harmônicas como aumento de temperatura e redutor de vida útil de um transformador, chegando em alguns casos reduzir em 50% a vida útil do transformador.

INFLUÊNCIA DA DISTORÇÃO HARMÔNICA DE CORRENTE NO AQUECIMENTO DO TRANSFORMADOR

	Temperatura do ponto mais quente (^{0}C)		Vida útil (pu)	
DHI [%]	Mod. de 1ª ordem	Mod. de 5ª ordem	Mod. de 1ª ordem	Mod. de 5ª ordem
0	*75,3*	*75,5*	*1,00*	*1,00*
10	*75,7*	*75,8*	*0,95*	*0,96*
20	*76,6*	*76,7*	*0,85*	*0,86*
30	*78,2*	*78,2*	*0,70*	*0,72*
40	*80,4*	*80,3*	*0,54*	*0,56*
50	*83,2*	*82,8*	*0,38*	*0,41*
60	*86,6*	*85,8*	*0,26*	*0,29*
70	*90,5*	*89,2*	*0,17*	*0,20*
80	*94,9*	*92,9*	*0,10*	*0,13*

Modos de reduzir as harmônicas:

✓ REDUZIR AS HARMÔNICAS NA SUA ORIGEM (EQUIPAMENTOS) ➔ FABRICANTES/NORMALIZAÇÃO

✓ REDUZIR SUA PRESENÇA / EFEITOS NA INSTALAÇÃO ➔ PROJETISTAS / INSTALADORES / MANUTENÇÃO / FABRICANTES

NA INSTALAÇÃO

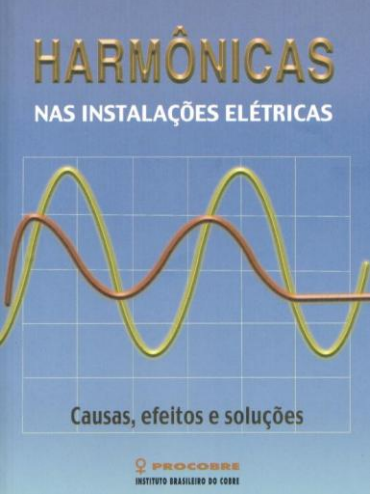
- Uso de transformadores com fator de desclassificação K (UL);
- Redimensionamento dos condutores fase e neutro;
- Separação de circuitos;
- Uso de transformadores separadores;
- Uso de filtros, Ativos ou Passivo

INTER HARMONICAS

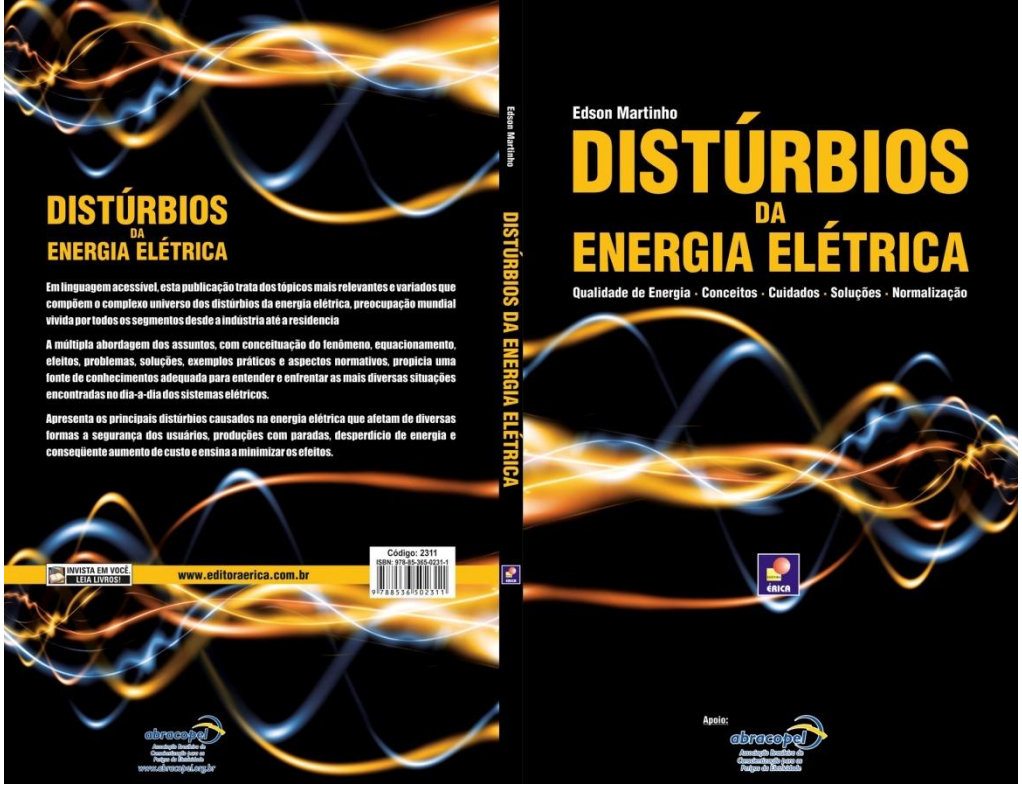
- é caracterizado pela presença de formas de ondas de tensão ou corrente com valores que não são múltiplos da freqüência fundamental (no caso Brasil 60Hz). Estas freqüências podem aparecer de forma discreta ou com uma larga faixa espectral, em diferentes classes de tensão. Apesar de serem distúrbios pouco conhecidos e estudados, é sabido que podem afetar os sinais de portadoras dos sinais, (carriers) e também afetar a visualização em sinais de display como tvs de raios catódicos, induzindo os conhecidos Flickers, já estudado. Os estudos mostram que os interharmonicos são produzidos por equipamentos a arco, motores de indução, inversores e conversores estáticos entre outros.

Custo x benefício

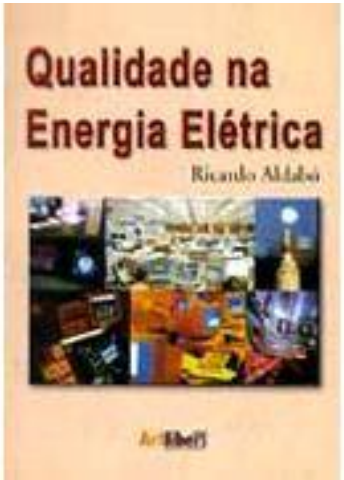
- ✓ Faça uma medição para saber qual os problemas de qualidade de energia em cada circuito.
- ✓ Verifique a redução do tempo de vida útil de cada componente da instalação (fio, motor, transformador, etc).
- ✓ Quantifique o desperdício de energia por perda joule por exemplo.
- ✓ Faça comparativo com custo da solução para as harmônicas.



www.procobre.org



Distúrbios da Energia Elétrica
EDSON MARTINHO
Editora: Erica



Qualidade na Energia Elétrica
RICARDO ALDABO
Editora: Artliber

Harmônicas em sistemas Industriais
Guilherme Alfredo Dontzien Dias
Edipucrs

OBRIGADO!

Edson Martinho
edson@lambdaconsultoria.com.br
11-9688-1148 / 4028-5451