

Distúrbios da energia elétrica

Variação de tensão

VARIAÇÃO TENSÃO

- Sabemos que a tensão deve ser mantido dentro de determinados padrões, para o bom funcionamento dos equipamentos.
- O fenômeno variação de tensão pode ser para mais ou para menos.
- A duração pode interferir ou não em um equipamento e quanto maior a duração, maior a probabilidade dos equipamentos serem afetados

O que causa a variação de tensão?

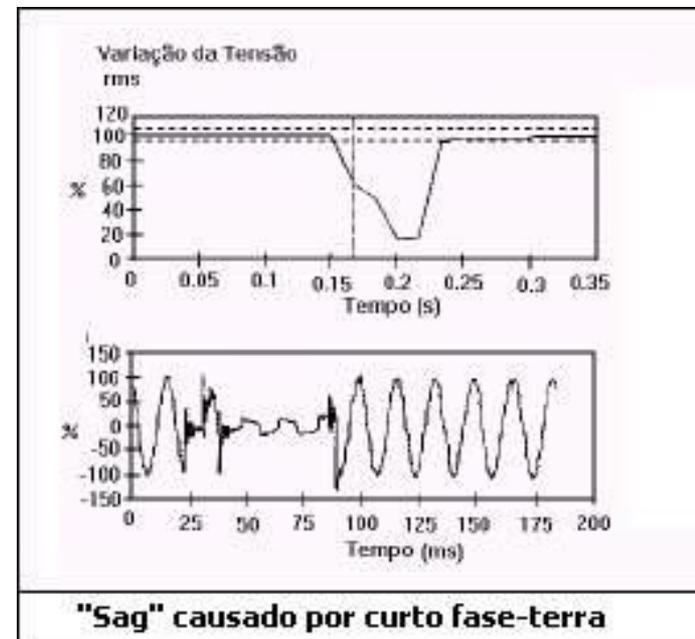
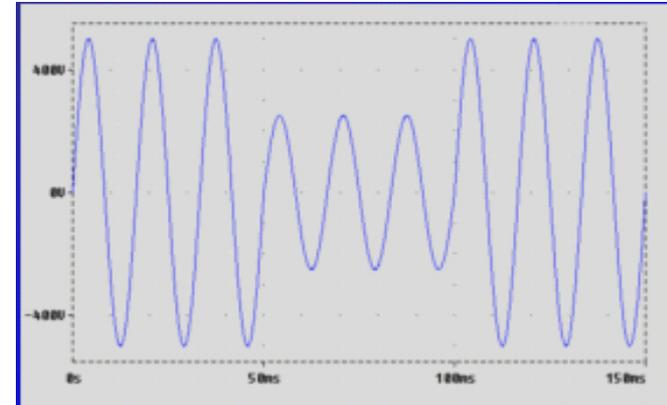
- Energização e desenergização de cargas elevadas, de capacitores.
- Curto circuitos (fase-terra) na linha
- Dispositivos de regulação de tensão

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.

2.0 Variações de Curta Duração		
2.1 Instantâneas		
2.1.1 Interrupção	0,5-30 ciclos	< 0,1 pu
2.1.2 Redução (Sag)	0,5-30 ciclos	0,1-0,9 pu
2.1.3 Elevação (Swell)	0,5-30 ciclos	1,1-1,8 pu
2.2 Momentâneas		
2.2.1 Interrupção	0,5 ciclos-3 s	< 0,1 pu
2.2.2 Redução (Sag)	30 ciclos-3 s	0,1-0,9 pu
2.2.3 Elevação (Swell)	30 ciclos-3 s	1,14-1,4 pu
2.3 Temporárias		
2.3.1 Interrupção	3 s-1 min	<0,1 pu
2.3.2 Redução (Sag)	3 s-1 min	0.1-0.9 pu
2.3.3 Elevação (Swell)	3 s-1 min	1.1-1.2 pu

- ✓ 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 frequência 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.



CAUSA

- Curto circuito fase-terra;
- Condutores danificados, com fuga;
- Energização de carga de elevada potência;
- Acionamento de banco de capacitores;
- Geração instável (gerador, UPS, etc);

EFEITO

- Falha em equipamentos locais e remotos por falta de tensão de alimentação
- Reinicialização de operações como computadores, controladores, etc.
- Acionamento de reles de subtensão
- Impacto econômico por parada de máquinas e dispositivos de proteção

CASO REAL

- Industria de bebida,
 - Supervisorio de garrafas
 - Parada anual de até 15 vezes por falta ou afundamento de tensão por alguns milisegundos
- Efeito:
 - Desligamento do controle do supervisorio por tensão abaixo do limite do equipamento (sensibilidade)
 - 25 segundos de check list para re-início do trabalho

Caso Real 2

- Indústria textil: Extrusoras e bobinadoras (600m fio/minuto)
 - Algumas máquinas sofriam com afundamento típico de 30% entre 4 e 10 ciclos com acionamento de sistema de proteção por aumento de pressão nos fios –ocorria na retomada da tensão que gerava um aumento de pressão nos fios)
 - Solução: modificação dos parâmetros da máquina, alterando os valores na EPROM, diminuindo a sensibilidade ao afundamento para 50% e 500ms
 - Resultado:
 - redução do consumo em KW/ton de 2854,76 para 2543,83
 - Redução de geração de refugo em 43,83% (economia de US\$230 mil)
 - Aumento da produção de 6,7% total
 - Aumento da eficiência energética de 10,7% (economia de 117,5MWh/mês)

Caso Real 3

- Indústria textil: Extrusoras e bobinadoras (900m fio/minuto)
 - Algumas máquinas sofriam com afundamento típico de 30% entre 4 e 10 ciclos com acionamento de sistema de proteção por aumento de pressão nos fios –ocorria na retomada da tensão que gerava um aumento de pressão nos fios)
 - Várias máquinas com parâmetros alterados pela produção em busca de melhoria da performance, porém deixava os equipamentos mais sensíveis a afundamento.
 - Solução:
 - modificação dos parâmetros da máquina, alterando os valores na EPROM, diminuindo a sensibilidade ao afundamento para 50% e 500ms
 - Desligamento do sistema de realimentação do circuito CC do inversor, pelo uso da energia gerada pela bobinadora (com autorização da empresa fabricante do inversor.
 - Resultado:
 - Redução de geração de refugo em 90% (economia de US\$280 mil em 10 meses)
 - Investimento: US\$50 mil

SOLUÇÕES

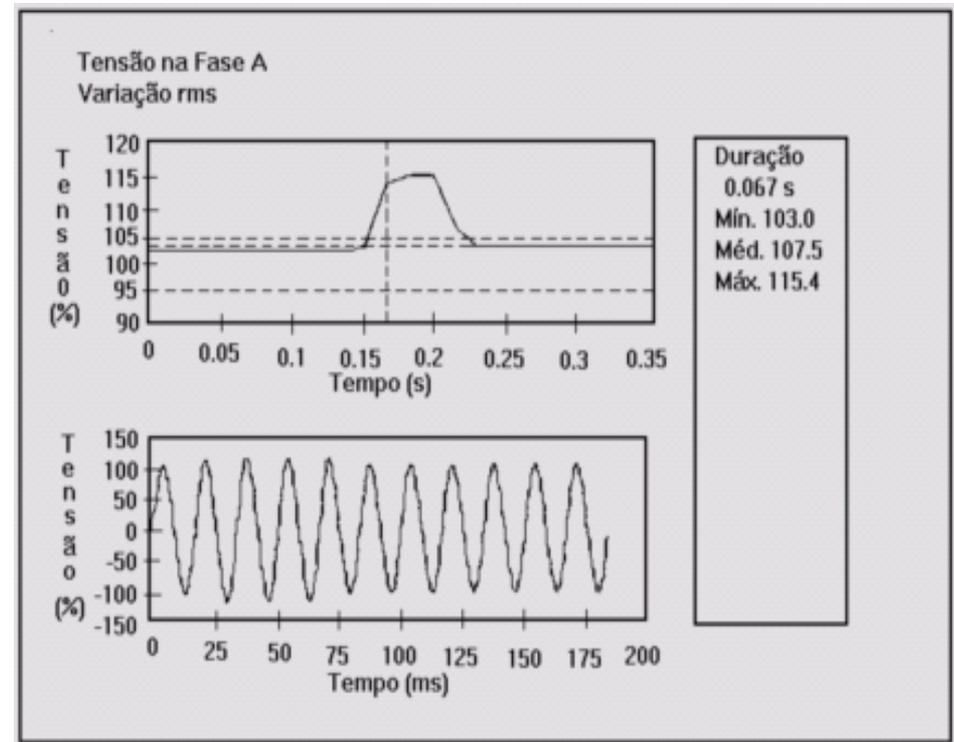
TRATANDO A CAUSA:

- Separação de cargas;
- Uso de acionamentos suaves – SOFTSTARTERS – estrela/ triangulo, auto-trafo (redução $V_{partida}$);
- Controle na geração.

TRATANDO O EFEITO

- Implantação de condicionadores de energia (No-break, estabilizadores);
- Re-dimensionamento da linha;
- Uso de trafos ferro ressonante (CVT – Constant Voltage Transformer)/
- Compensadores estáticos ou dinâmicos

- ✓ Uma sobretensão de curta duração ou "swell" é definida como um aumento entre 1,1 e 1,8 pu na tensão eficaz, na frequência 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.



CAUSA

- Desenergização de cargas elevadas;
- Desacionamento de banco de capacitores;
- Atuação de reguladores de tensão;
- Descargas atmosféricas induzidas.

- Sobre-tensão nos equipamentos que podem sofrer danos como queima de circuitos eletrônicos, explosão de capacitores por sobrecarga, etc;
- Acionamento de dispositivos de proteção (fusíveis, disjuntores, reles de sobre-tensão);
- Perda de dados em dispositivos de armazenamento;
- Impacto econômico por parada de produção;

CASO REAL

- Em abril de 2007 a mesma empresa de bebidas citada no caso de SAG, sofreu uma queima de placa de um inversor por uma sobretensão o que, por falta de sobressalente, causou a parada de uma linha de produção de cervejas por um período de 9 horas acarretando uma perda de cerca de 8.000 litros de cerveja não produzidas.

Solução

- Separação de circuitos;
- Eliminação dos efeitos causadores;
- Condicionadores de energia true on line;
- Uso de dispositivos de proteção contra sobretensão;

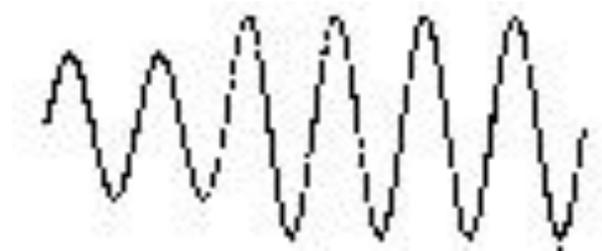
VARIAÇÃO TENSÃO DE LONGA DURAÇÃO

- 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 frequência fundamental e uma duração maior que 1 minuto

Overvoltage:



CAUSA

- Desligamento de cargas;
- Uso de banco de capacitores fixos (aumento de tensão);
- Sistema de regulação de tensão na geração ou transmissão;
- Falta Fase-terra;
- Variação da impedância da rede;
- Tap de trafos conectados erroneamente;

- Queima de circuitos eletrônicos;
- Aquecimento de condutores e dispositivos de proteção (risco de incêndio)
- Acionamento de dispositivos de proteção contra sobre tensão;
- Parada de produção;
- Impacto econômico;

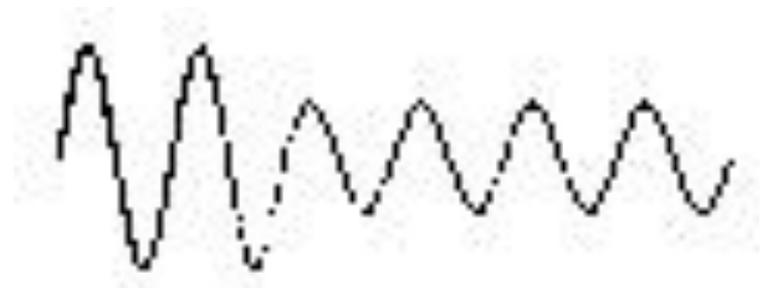
SOLUÇÃO

- Condicionadores de energia (UPS, Autotrafo, ferroressonante);
- Substituição de bancos fixos por automáticos (correção de fator de potencia);
- Eliminação da causa do distúrbio;
- Separação de circuitos;
- Ajuste dos geradores e transformadores.

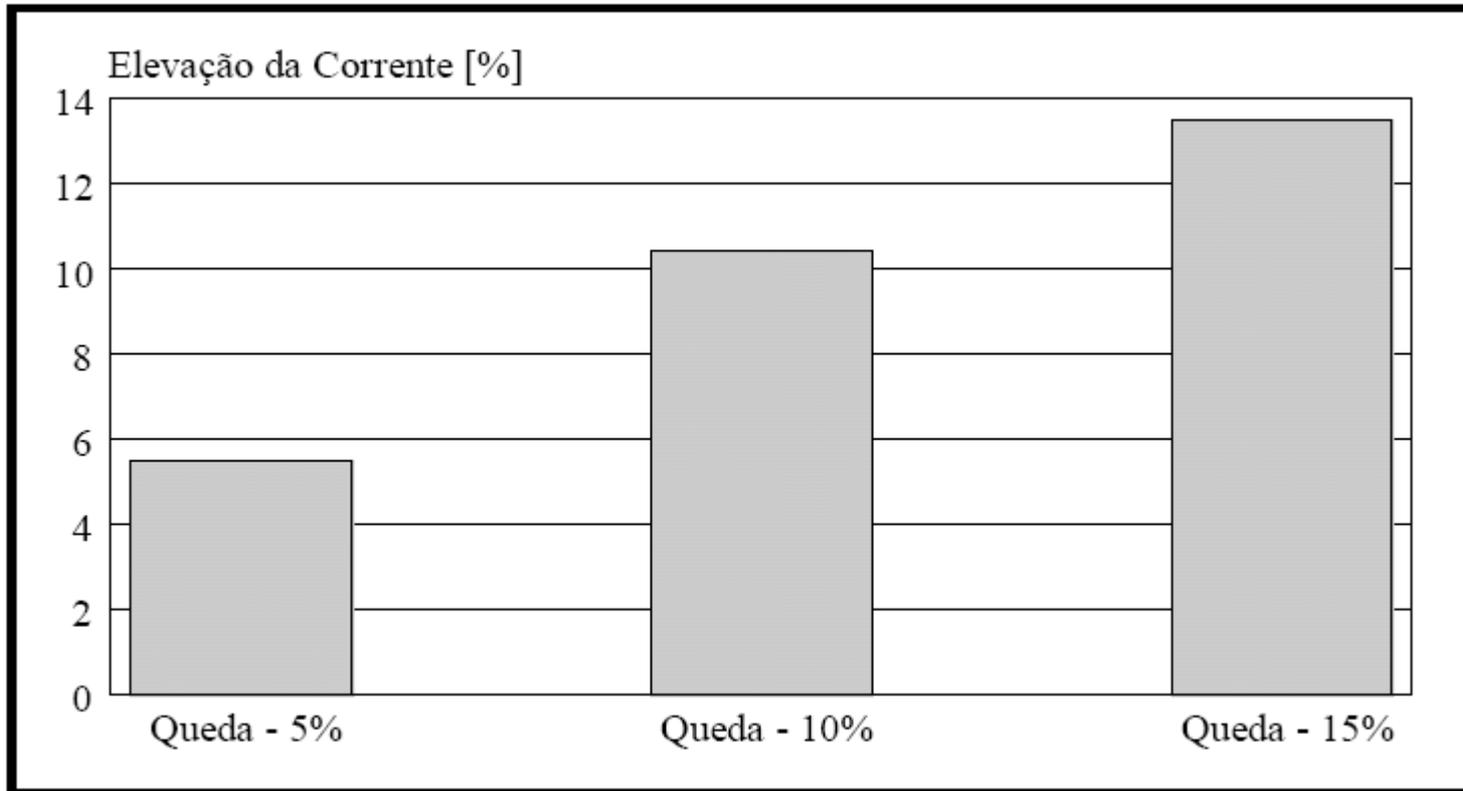
SUBTENSÃO

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

Undervoltage:



Elevação de corrente x queda de tensão



Motor de indução de 5CV

CAUSA

- Curto Circuitos
- Fuga em circuitos e condutores
- Regulação de geradores e transformadores

- Parada de funcionamento de equipamentos eletrônicos por falta de tensão suficiente;
- Sobre-aquecimento de motores e transformadores, gerando queima ou princípio de incêndio;
- Acionamento de dispositivos de proteção contra subtensão
- Parada de produção;
- Impacto econômico;

- Fornecimento de energia em final de linha com variação muito grande, sofrendo diminuição de tensão quando outras cargas são ligadas na linha.

SOLUÇÃO

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

INTERRUPÇÃO

- A interrupção é caracterizada pela ausência total de tensão, ou valores abaixo de 0,1 PU que pode ocorrer por alguns mili segundos chegando a vários minutos. É dividida em
- Momentânea – 05 a 30 ciclos
- Temporária – 31 ciclos a 3 segundos
- longa duração acima de 3 segundos

CAUSA

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

EFEITO

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

SOLUÇÃO

- Nobreak;
- Geradores;
- Outras fontes de energia;
- Separação de circuitos;
- Redimensionamento da rede.

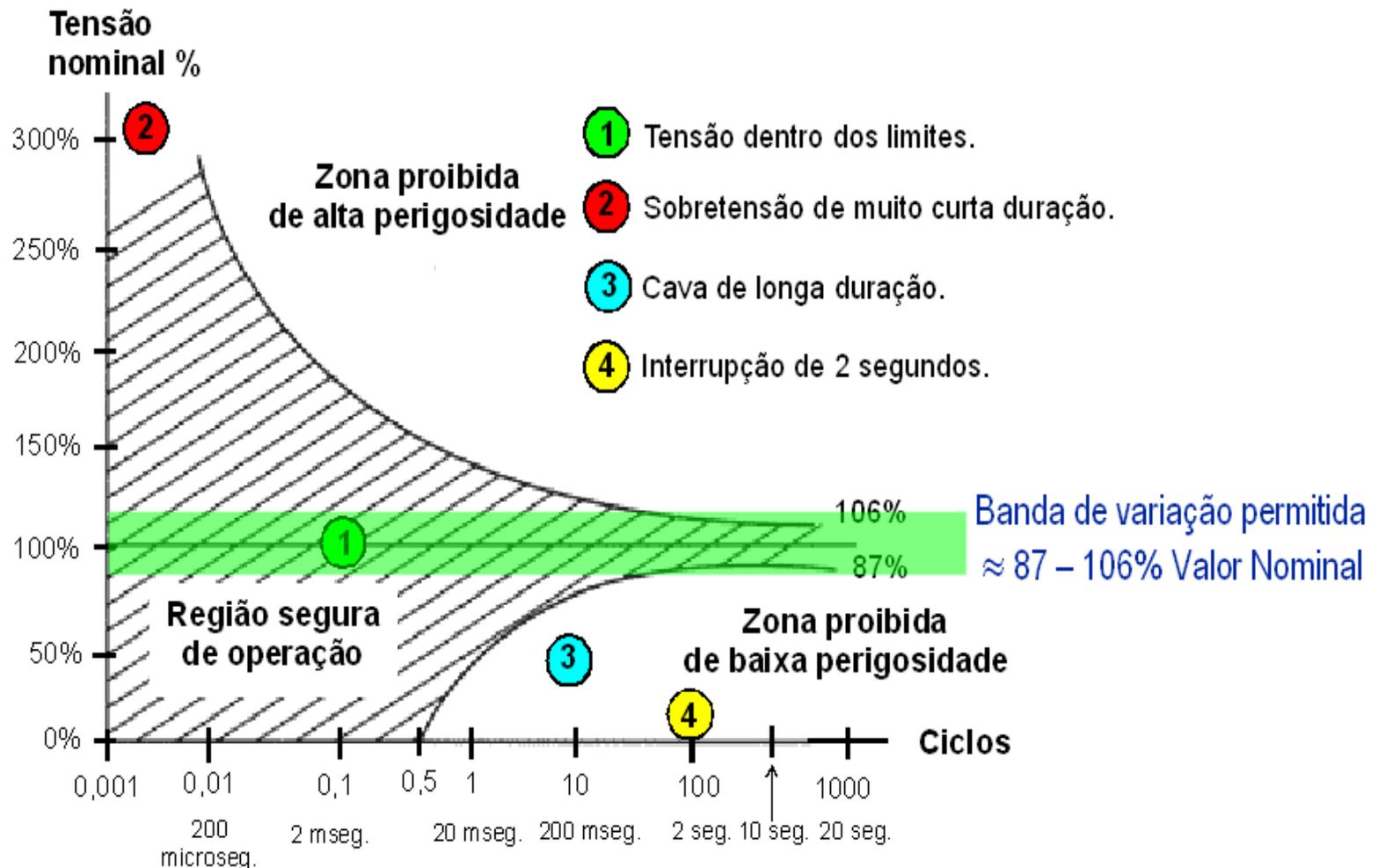


Um estudo realizado pela EPRI (Electric Power Research Institute), com alguns equipamentos industriais, apresenta os níveis de sensibilidade quanto ao afundamento de tensão destes equipamentos, vejamos:

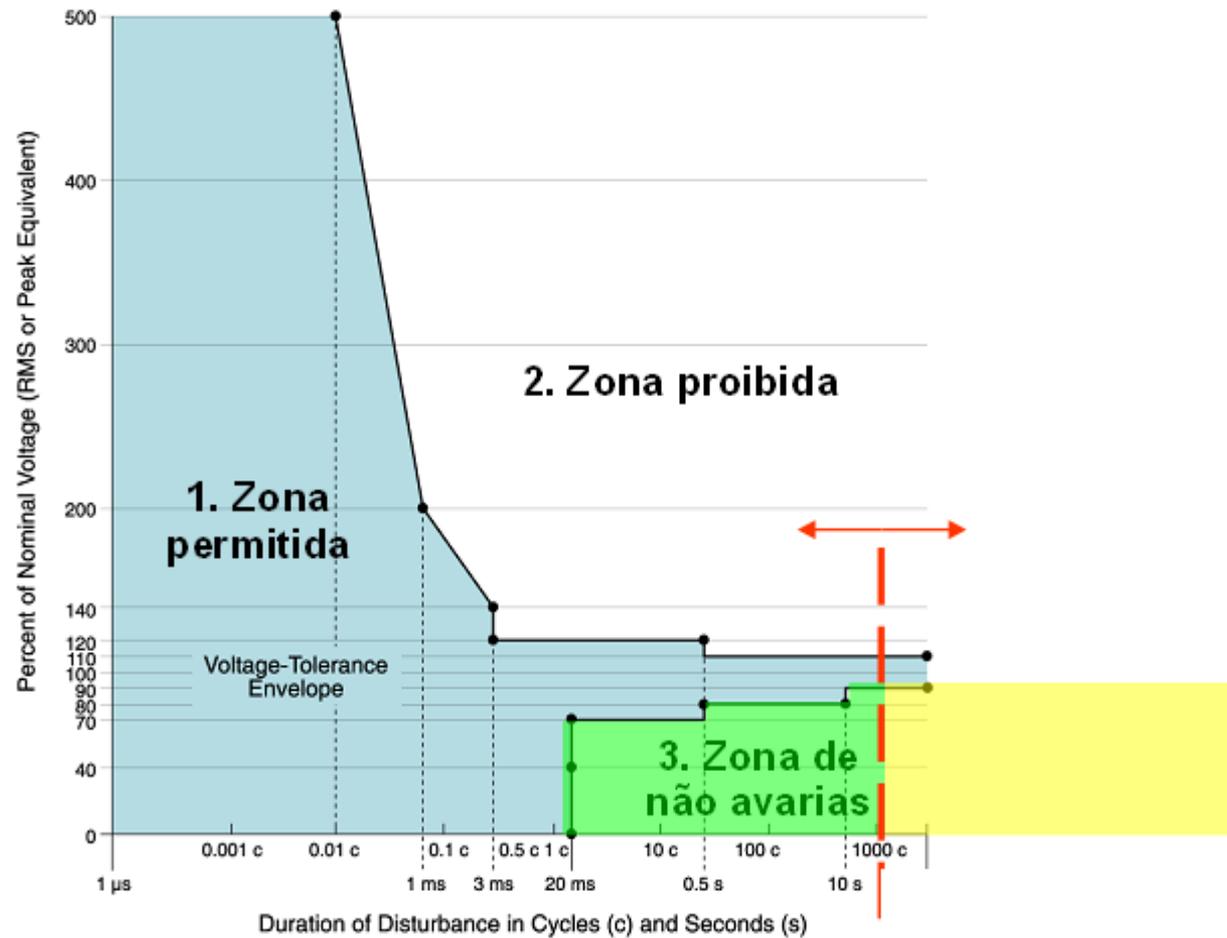
- Controlador de resfriamento: **Apresentam uma sensibilidade a subtensões quando estes valores caem 20%**, ou seja, a menos de 80% da tensão nominal.
- Equipamento de teste de chip (componente eletrônico) – Estes equipamentos **tem sensibilidade a partir de valores abaixo de 85%** da tensão nominal e podem ter seu tempo de reinicialização em até 30 minutos o que acarreta uma perda inestimável de produção.
- Acionadores de corrente contínua: Um equipamento utilizado em larga escala nas indústrias e também em ambientes comerciais e até residenciais, como é o caso de elevadores, os acionadores CC (conhecidos como inversores), **possuem uma sensibilidade muito grande a variação de tensão**. Principalmente no afundamento, pois neste estudo realizado pela EPRI, **apresentou sensibilidade a partir de 88% da tensão nominal**. A presença de valores abaixo desta tensão podem causar funcionamento errôneo dos equipamentos e pode causar inclusive acidentes de grande natureza.
- Controladores lógicos programáveis (PLC ou CLP): Os equipamentos mais antigos e portanto mais robustos, porém mais lentos até podem suportar interrupções de alguns ciclos, porém com o avanço da tecnologia e da velocidade a tensão de alimentação é muito importante e os equipamentos mais recentes **consideram valores de afundamento de curta duração em até 50%** da tensão nominal, porém nem todos tem esta baixa sensibilidade.
- Robôs: Estes equipamentos são eletro-mecânicos, porém necessitam de precisões muito grande de funcionamento, e por isso os circuitos de controle eletrônico são imprescindíveis. Neste caso **afundamentos de tensões a níveis menores que 90% podem fornecer informações errôneas** e conseqüentemente causar danos ou acidentes com este tipo de equipamento.
- Computadores: Estes equipamentos, são hoje o principal dispositivo de controle de todas as organizações. É raro entrar em uma indústria e não encontrar pelo menos um computador controlando várias atividades. Preocupado com esta situação e também com as variações de tensão, a Associação de fabricantes de computadores CBEMA desenvolveu um estudo e definiu as tolerâncias mínimas de variação de tensão que computadores suportam. (figura abaixo).

Curva CBEMA reflecte esta realidade

Base da EN 50160, do RQS, ...



Curva CBEMA - "Computer Business Equipment Manufacturers Association", definida pelo EPRI (Tom Key) em 1978.



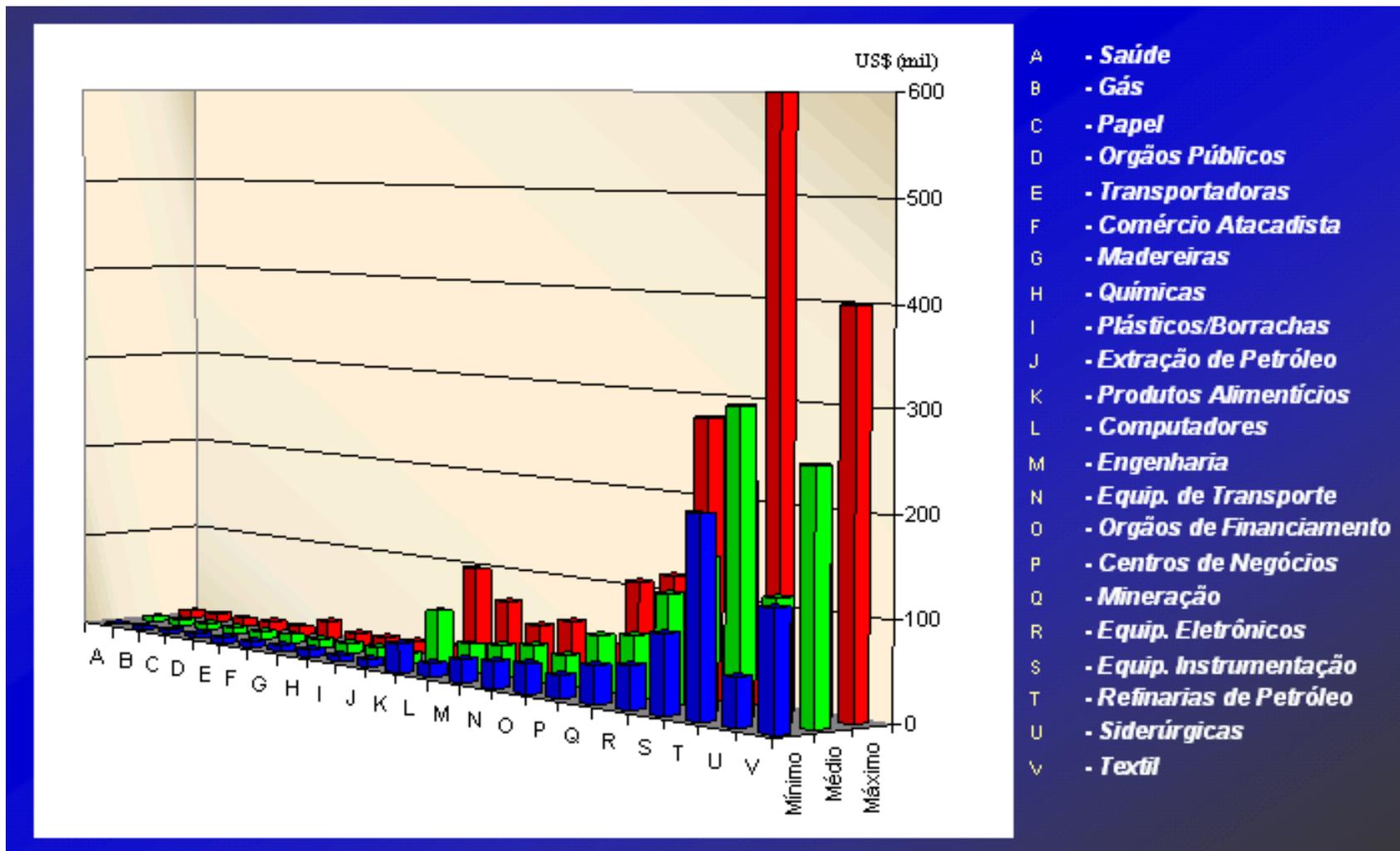
Projecto dos equipam.	Electrón. de Potência	Electrón. de Potência
	Armaz. de energia	Armaz. de energia
		Capacid. de geração

CUSTOS ↑

IMPACTO ECONÔMICO DA INTERRUPÇÃO

- Os **custos de interrupção** para os consumidores estão relacionados com o valor monetário das **perdas geradas pela interrupção do fornecimento de energia ou problemas de qualidade de energia**. Estes custos variam de consumidor para consumidor como uma função de alguns fatores, incluindo:
 - Dependência do consumidor da eletricidade;
 - A natureza e momento do distúrbio;
 - O valor monetário da atividade interrompida.
- **Tipicamente, aproximadamente 15% do custo do prejuízo com matéria prima, durante uma de interrupção de 4hs, acontece dentro dos primeiros segundos da interrupção, sendo que 60% do prejuízo ocorre na 1ª hora de desligamento**. Esta afirmação ilustra a importância dos distúrbios de curta duração sob o aspecto econômico
 - Estudo da PUC MG apresentado no V SBQEE em 2003

Custo estimado para interrupção de até 1 minuto



Caso do estudo – industria de laticínios

- Processamento de leite
- Características da empresa:
 - O número estimativo médio de interrupções 30,71 eventos/ano.
 - Alimentação 13.8 KV



Tabela 2 - Média de ocorrência (afundamentos) por ano para uma amostra de 120 sorteios (120 anos) – Monitoração barra do consumidor.

V (pu)	200 (ms)	300 (ms)	700 (ms)	800 (ms)
0,9	13,88	0,24	19,36	0,76
0,8	21,34	0	14,30	0
0,7	6,61	0	9,28	0
0,6	5,44	0	3,60	0
0,5	2,61	0	1,10	0
0,4	1,37	0	1,36	0
0,3	0,47	0	0,23	0
0,2	0	0	0,05	0
0,1	0	0	0	0
0,0	0	0,21	0	0,79

•PREJUÍZO ANUAL

•R\$ 18600,00 (valores de 2003) somente com afundamento de tensão.

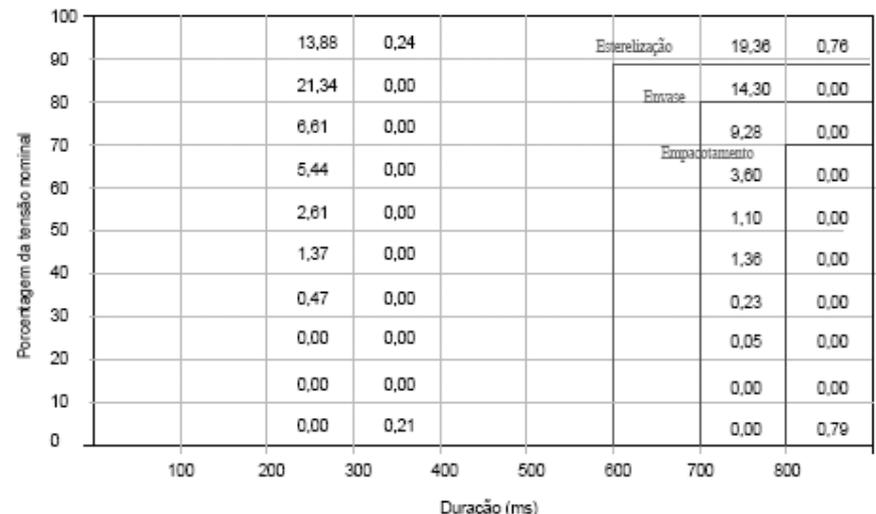


Figura 6 - Curva estimativa da sensibilidade equivalente do consumidor

TECNICA DE MITIGAÇÃO DOS DISTURBIOS DA ENERGIA ELÉTRICA

- Avaliação da instalação elétrica (Subestação, malhas de controle e usuário)
- Identificação dos problemas de QEE por instalação de medidores
- Entendimento do processo produtivo (relato de produção, manutenção, qualidade)
- Histórico de ocorrência de problemas com suspeita de distúrbios de QEE
- Relação dos equipamentos e cargas críticas
- Levantamento de dados estatísticos de paradas
- Simulação dos distúrbios em laboratório (se possível), com implementação de soluções e análise de resultados
- Avaliação dos resultados
- Proposição de soluções
- Implantação das soluções propostas
- Avaliação dos resultados



ALGUMAS SOLUÇÕES

UPS – UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES

- Uma fonte de alimentação a base de baterias com objetivo e manter o fornecimento de energia mesmo quando ocorre uma falha na rede elétrica.
- Classificação:
 - UPS Off Line
 - UPS On line
- Tipos:
 - Ferroressonante
 - Linha interativo
 - Dupla conversão
 - Rotativo

UPS – OFF LINE

- Em operação normal a carga é alimentada pela rede elétrica, que também alimenta as baterias através de um retificador. Ao ocorrer a falha na energia principal, a carga é comutada para o inversor que alimenta a carga através das baterias.
 - Tipos de UPS Off Line:
 - Standby
 - Line interactive (interativo de linha)

UPS STANDBY

- As baterias entram em ação fornecendo energia a carga quando ocorre a queda de tensão na rede elétrica

UPS INTERATIVO DE LINHA

- Usa inversor bidirecional, banco de baterias, condicionador de energia e processador interno. O inversor esta sempre em operação fornecendo CA para o condicionador e carregando as baterias, quando ocorre uma falha na energia as baterias passam a alimentar a carga através do inversor.
 - Tempo de chaveamento: 2 a 5ms
 - Problemas:
 - Não é isolado (entrada e saída)
 - Regulação de tensão limitada
 - Sem proteção contra harmônicos
 - Suceptível a distúrbios como forma de onda com fator de potência corrigido, SAG momentâneo seguido de sobretensão, Harmônica e desviode frequencia
 - Não protegem contra transientes.

UPS ON LINE

- Alimenta a carga por uma combinação de rede e baterias, esta sempre on line com a carga.
- A base de retificador / inversor
- Protege a carga da maioria dos distúrbios incluindo harmônicas quando possuem filtros.

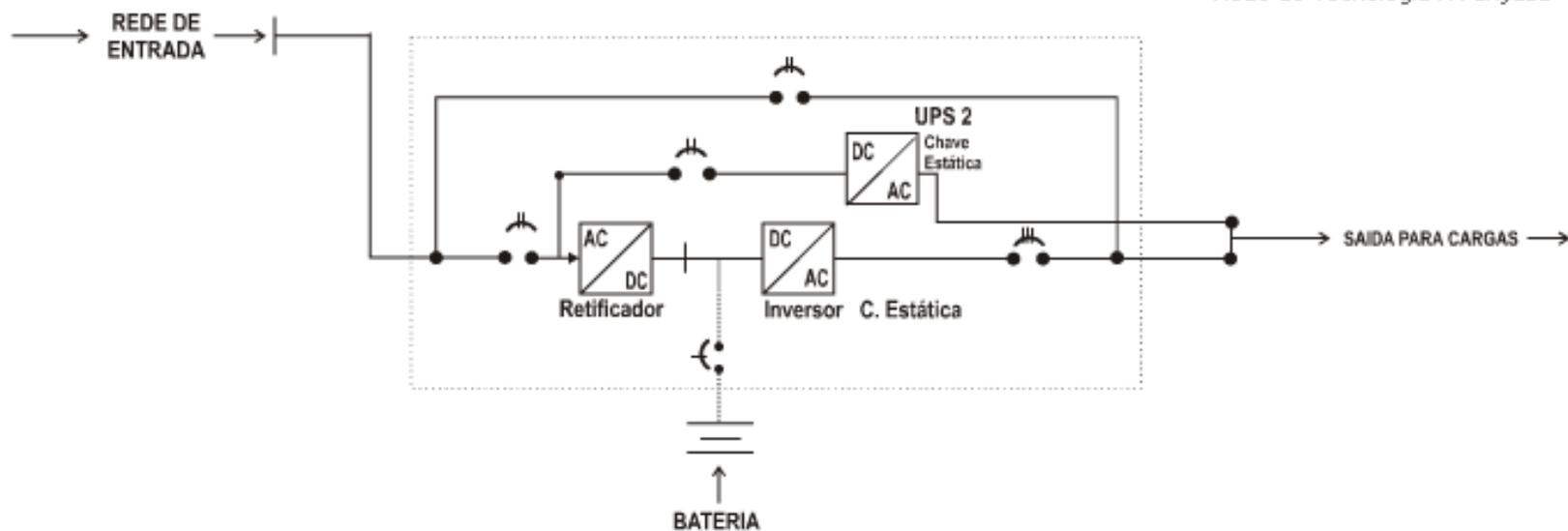
UPS FERRORESONANTE

- Utiliza um trafo ferroresonante como condicionador e regulador de energia no fornecimento da rede.
- Ao ocorrer a interrupção, o UPS utiliza a energia armazenada para suprir energia até que banco de baterias assuma o fornecimento e energia através do inversor.

UPS DUPLA CONVERSÃO

- A carga é alimentada pelo inversor que por sua vez é alimentado pela energia da rede. Em uma falha da rede, o inversor passa automaticamente a ser alimentado pelas baterias não havendo tempo de comutação.

NOBREAK - DUPLA CONVERSÃO



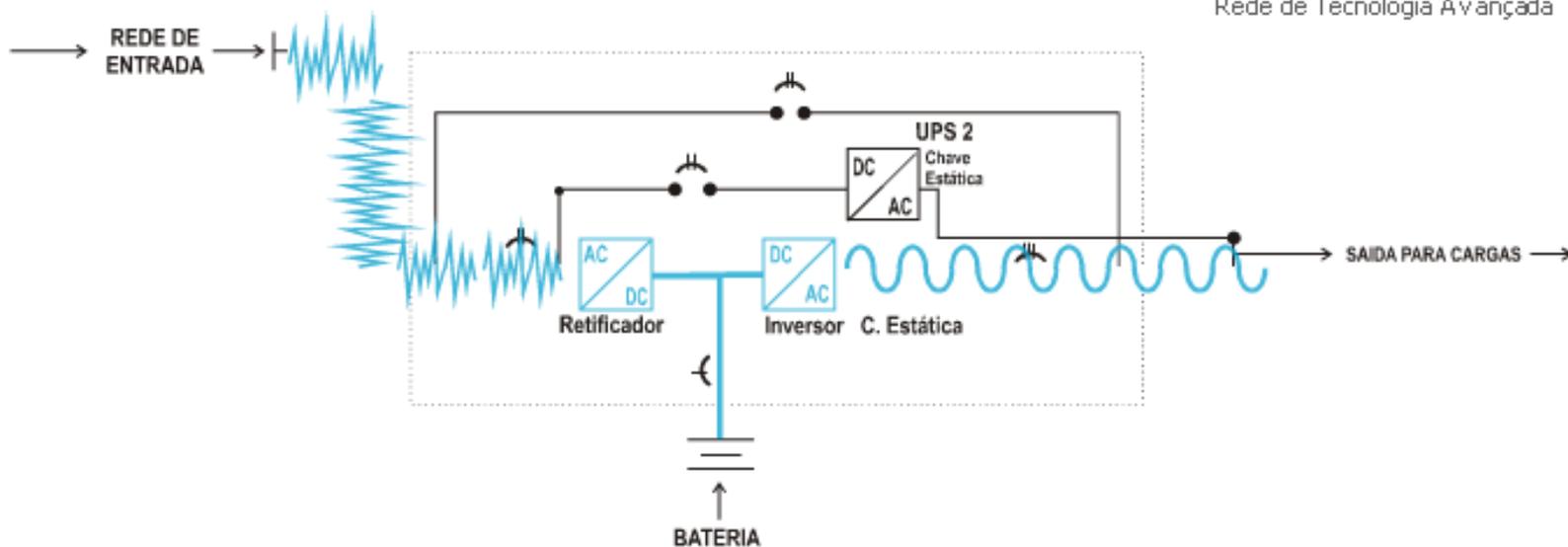
■ By Pass Manutenção ou Manual

■ On Line

■ By Pass Automático

■ Falta de Rede

NOBREAK - DUPLA CONVERSÃO



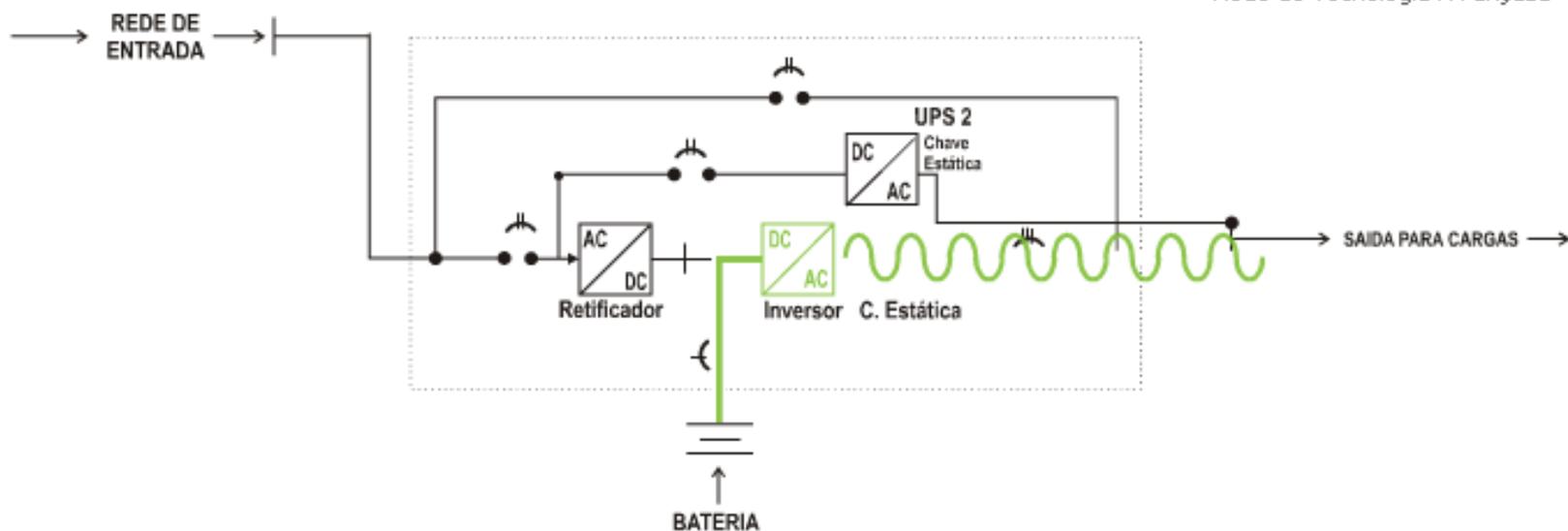
■ By Pass Manutenção ou Manual

■ On Line

■ By Pass Automático

■ Falta de Rede

NOBREAK - DUPLA CONVERSÃO



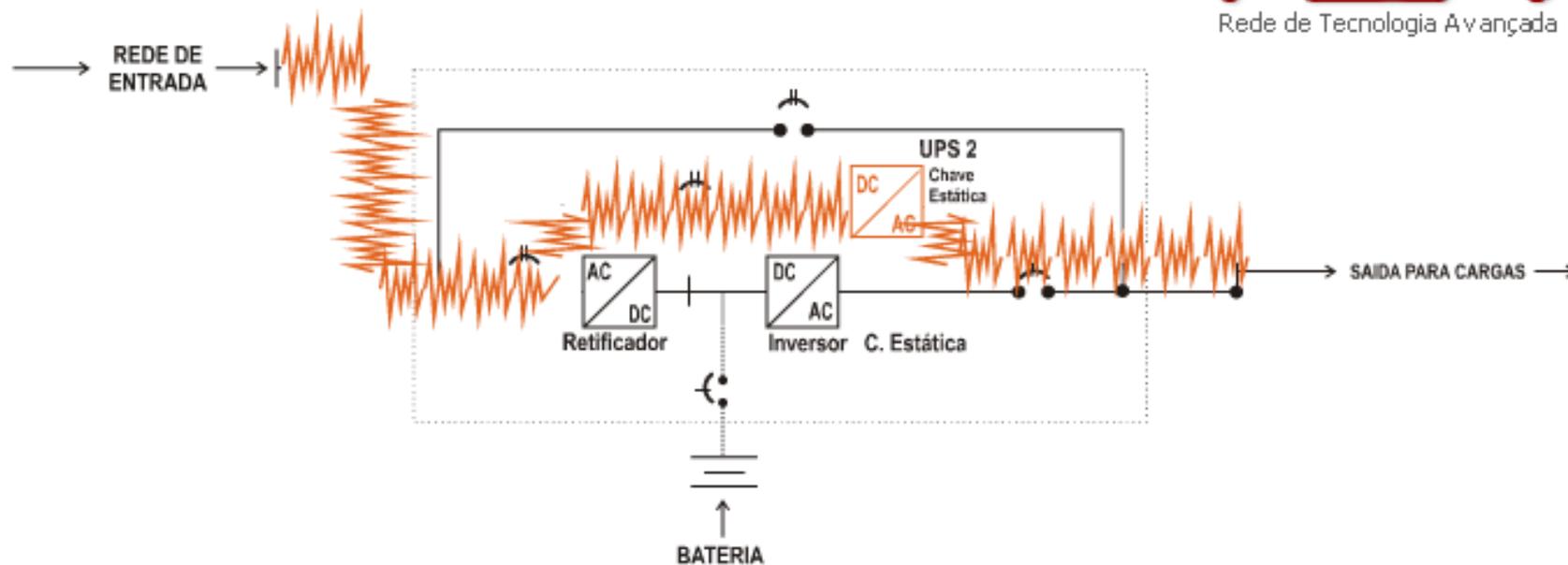
By Pass Manutenção ou Manual

On Line

By Pass Automático

Falta de Rede

NOBREAK - DUPLA CONVERSÃO



By Pass Manutenção ou Manual

On Line

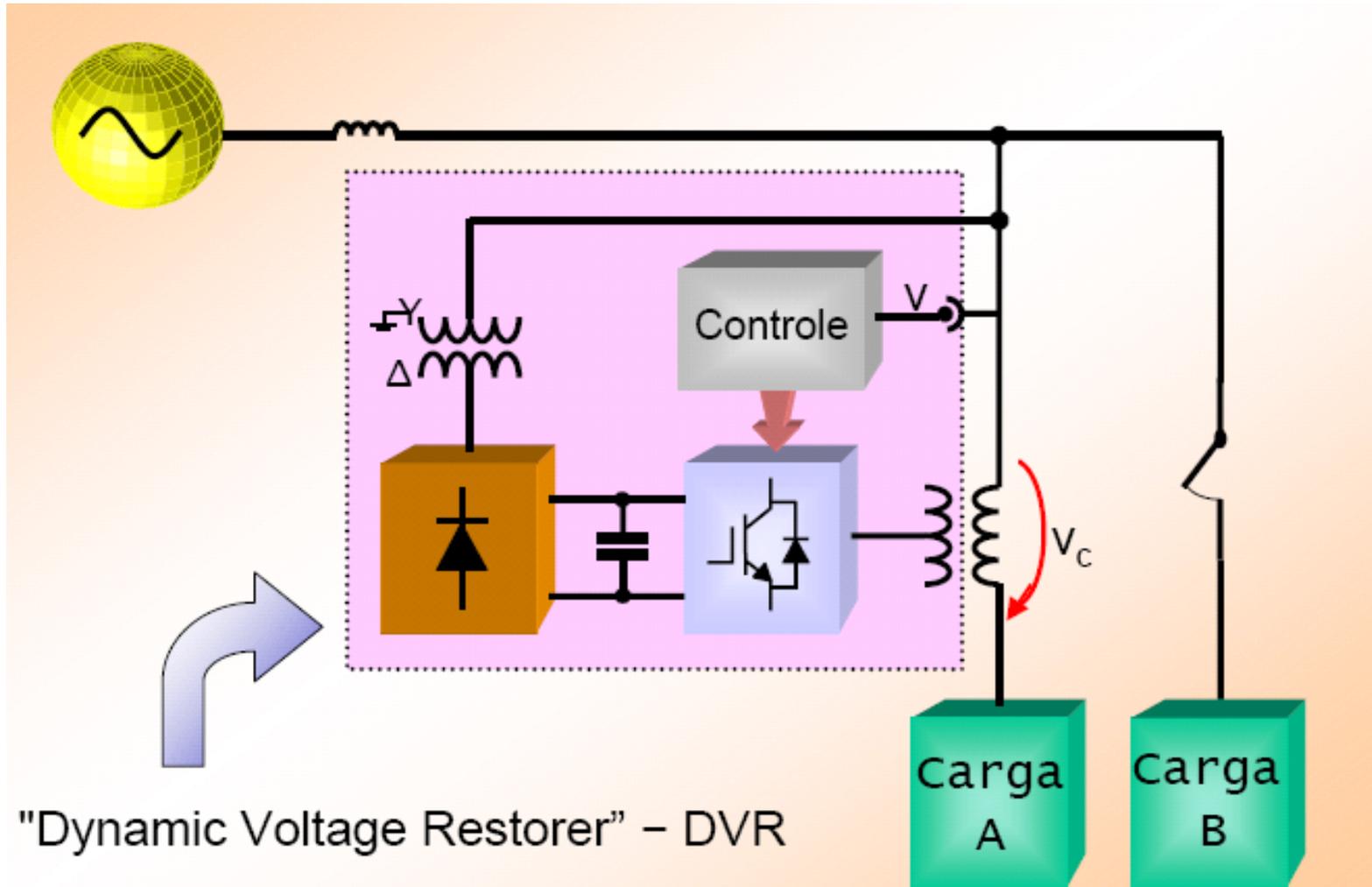
By Pass Automático

Falta de Rede

UPS ROTATIVO

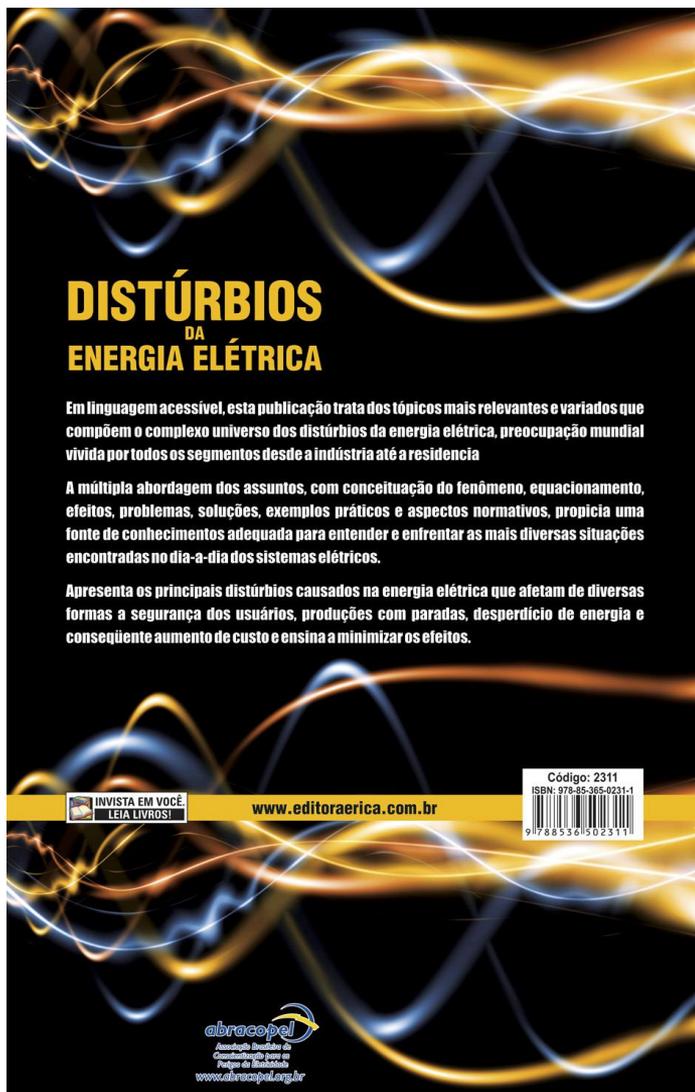
- Utiliza um motor-gerador conjugado com um UPS estático. O motor gerador providencia a isolação total da carga em relação a fonte externa e em condições normais supre 100% da energia para a carga.
- Na interrupção, o conjunto motor-gerador tem uma inércia que faz gerar energia por um curto espaço de tempo, que é suficiente para que as baterias passem a alimentar o conjunto motor-gerador.
- Possui o maior nível de proteção, porém é o mais caro.

Compensador em série com a Carga A"



RESUMINDO

- Cuidar da energia e eliminar as variações traz benefícios como redução das paradas em equipamentos, e perda de produção, bem como melhora de performance de equipamentos e produção.
- Lembre-se de transformar os valores para solucionar os problemas de qualidade de energia em investimento com retorno financeiro, pois isto facilita a aprovação.



DISTÚRBIOS DA ENERGIA ELÉTRICA

Em linguagem acessível, esta publicação trata dos tópicos mais relevantes e variados que compõem o complexo universo dos distúrbios da energia elétrica, preocupação mundial vivida por todos os segmentos desde a indústria até a residência

A múltipla abordagem dos assuntos, com conceituação do fenômeno, equacionamento, efeitos, problemas, soluções, exemplos práticos e aspectos normativos, propicia uma fonte de conhecimentos adequada para entender e enfrentar as mais diversas situações encontradas no dia-a-dia dos sistemas elétricos.

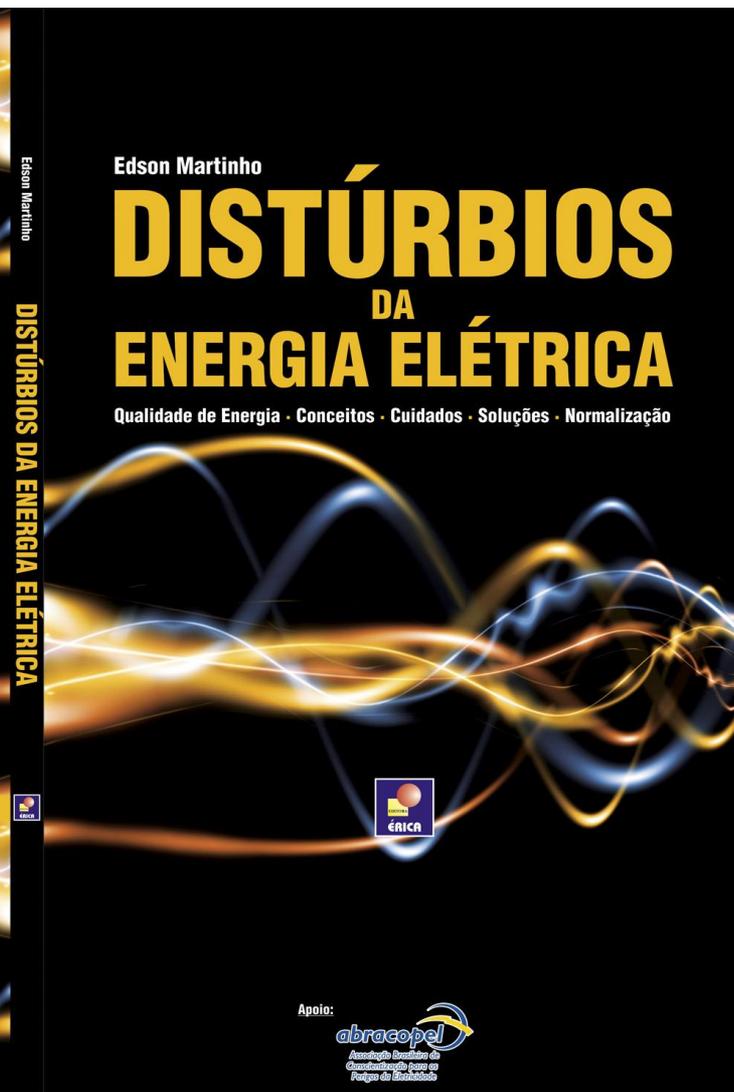
Apresenta os principais distúrbios causados na energia elétrica que afetam de diversas formas a segurança dos usuários, produções com paradas, desperdício de energia e conseqüente aumento de custo e ensina a minimizar os efeitos.

INVISTA EM VOCÊ.
LEIA LIVROS!

www.editoraerica.com.br

Código: 2311
ISBN: 978-85-305-0231-1
9 788530 502311

abracopel
Associação Brasileira de
Comunicação para o
Futuro da Eletricidade
www.abracopel.org.br



Edson Martinho

DISTÚRBIOS DA ENERGIA ELÉTRICA

Edson Martinho

DISTÚRBIOS DA ENERGIA ELÉTRICA

Qualidade de Energia · Conceitos · Cuidados · Soluções · Normalização

ERICA

Apoio:
abracopel
Associação Brasileira de
Comunicação para o
Futuro da Eletricidade



OBRIGADO

Edson Martinho

edson@lambdaconsultoria.com.br