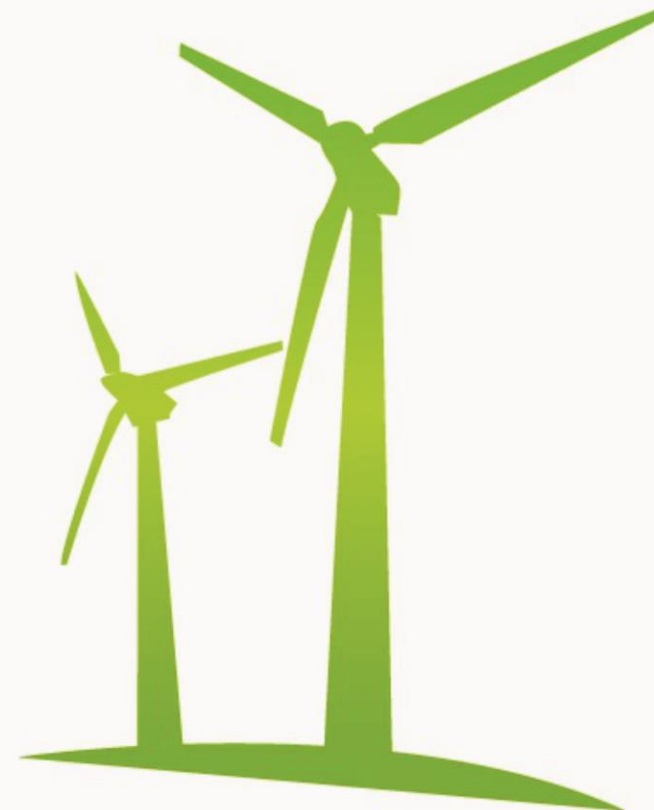
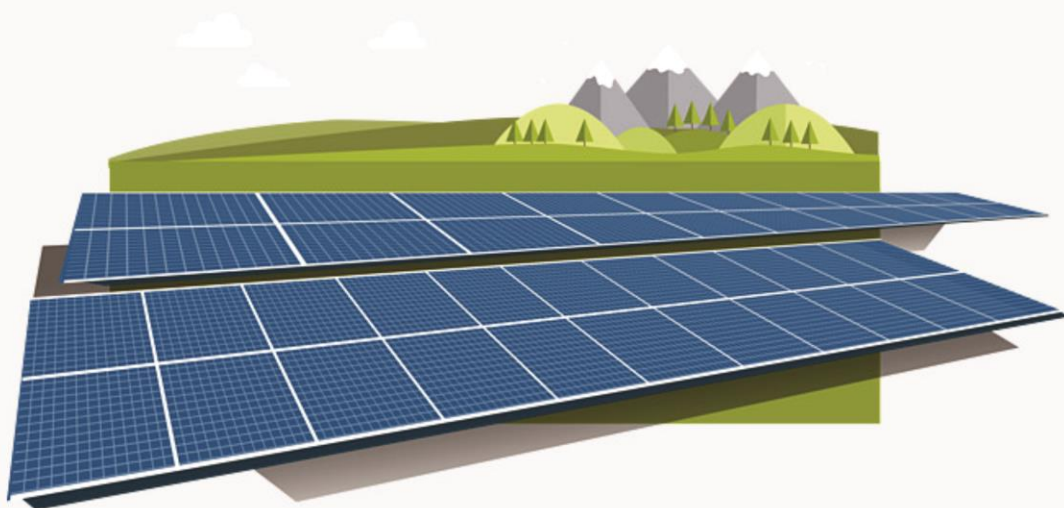


Qualidade de Energia – ELT 448

Aula 6 – Elevação e desequilíbrio de tensão

Victor Dardengo



Revisão das aulas passadas

- VTCD;
- VTLD;
- Transitórios;
- Sobretenção;
- Subtenção;
- Causas e efeitos.

Recapitulando, Termos e Definições segundo IEC

Categorias	Conteúdo Espectral Típico	Duração	Magnitude da tensão
2.0 Variações de curta duração			
2.1 Instantânea			
2.1.1 Interrupção		0.5 – 30 ciclos	<0.1 pu
2.1.2 sag		0.5 – 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.3 swell		0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 pu
2.2 momentânea			
2.2.1 Interrupção		30 ciclos – 3s	<0.1 pu
2.2.2 sag		30 ciclos – 3s	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 swell		30 ciclos – 3s	1.1 – 1.4 pu
2.3 Temporária			
2.3.1 Interrupção		3s – 1min	<0.1 pu
2.3.2 sag		3s – 1min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 swell		3s – 1min	1.1 – 1.2 pu
3.0 Variações de longa duração			
3.1 Interrupção sustentada		> 1 min	0.0 pu
3.2 Subtensão		> 1 min	0.8-0.9 pu
3.3 Sobretensão		> 1 min	1.1-1.2 pu

VTCD

- Instantâneas: 0,5 a 30 ciclos;
- Momentâneas: 30 ciclos a 3s;
- Temporárias: 3s a 1 minuto.
- causadas por condições de faltas, energização de grandes cargas que requerem altas correntes de partida, ou a perda intermitente de conexões nos cabos do sistema.
- Pode causar afundamento, elevação ou interrupção da tensão.



Elevação de tensão (swell)

- aumento da tensão eficaz do sistema (aumento este entre 10-80%) por um período de meio ciclo até 1 min.

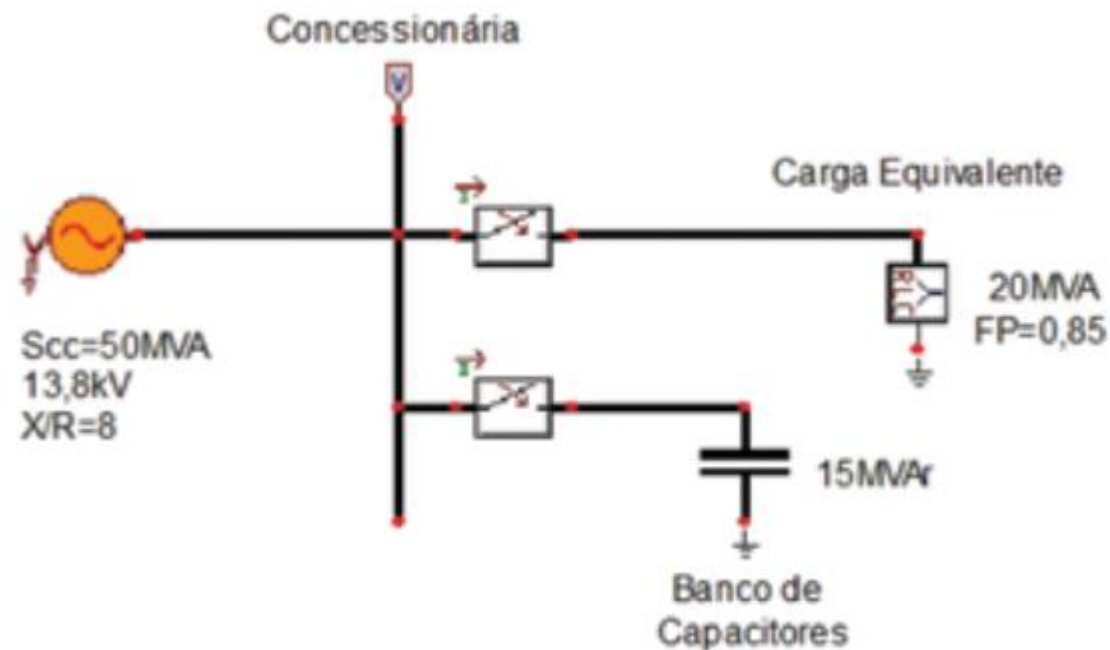
Categorias	Conteúdo Espectral Típico	Duração	Magnitude da tensão
2.0 Variações de curta duração			
2.1 Instantânea			
2.1.1 Interrupção		0.5 – 30 ciclos	<0.1 pu
2.1.2 sag		0.5 – 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.3 swell		0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 pu
2.2 momentânea			
2.2.1 Interrupção		30 ciclos – 3s	<0.1 pu
2.2.2 sag		30 ciclos – 3s	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 swell		30 ciclos – 3s	1.1 – 1.4 pu
2.3 Temporária			
2.3.1 Interrupção		3s – 1min	<0.1 pu
2.3.2 sag		3s – 1min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 swell		3s – 1min	1.1 – 1.2 pu

Elevação de Tensão

- são usualmente associadas às condições de faltas no sistema, **mas não são tão comuns como afundamentos de tensão.**
- Geralmente ocorre um aumento temporário da tensão em fases não faltosas durante uma falta FT.
- A severidade deste distúrbio durante uma condição de falta é uma função da localização da falta, impedância do sistema e do aterramento.
- Este fenômeno pode também estar associado à saída de grandes blocos de cargas ou a energização de grandes bancos de capacitores, porém, com uma incidência pequena se comparada com as sobretensões provenientes de faltas monofásicas nas redes de transmissão e distribuição.

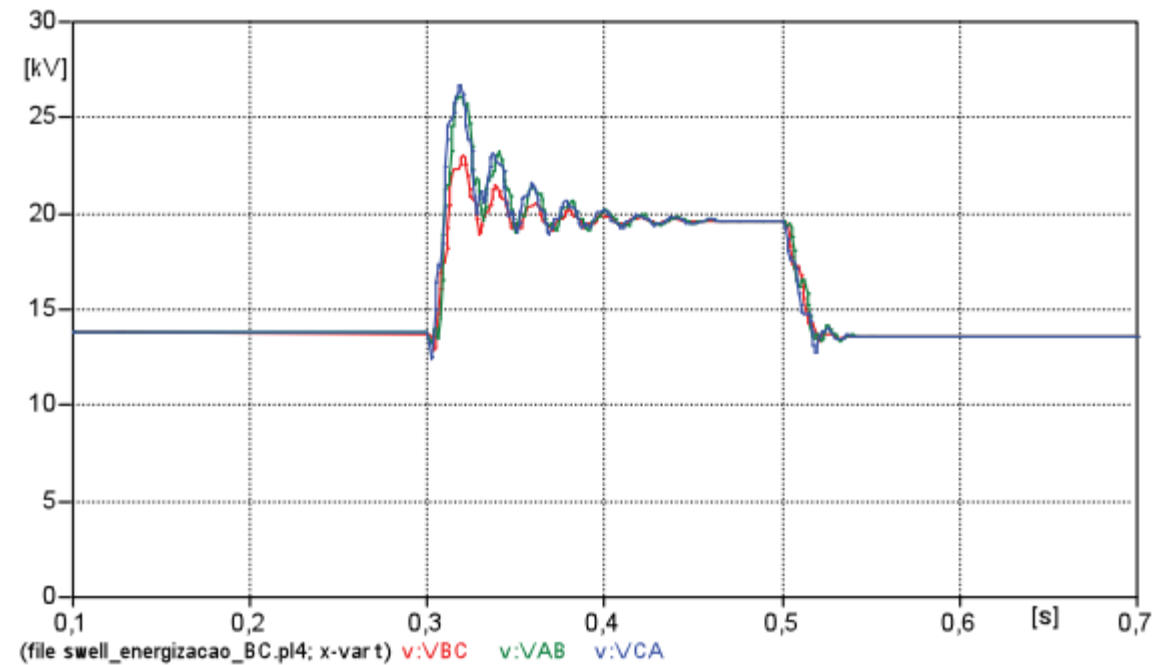
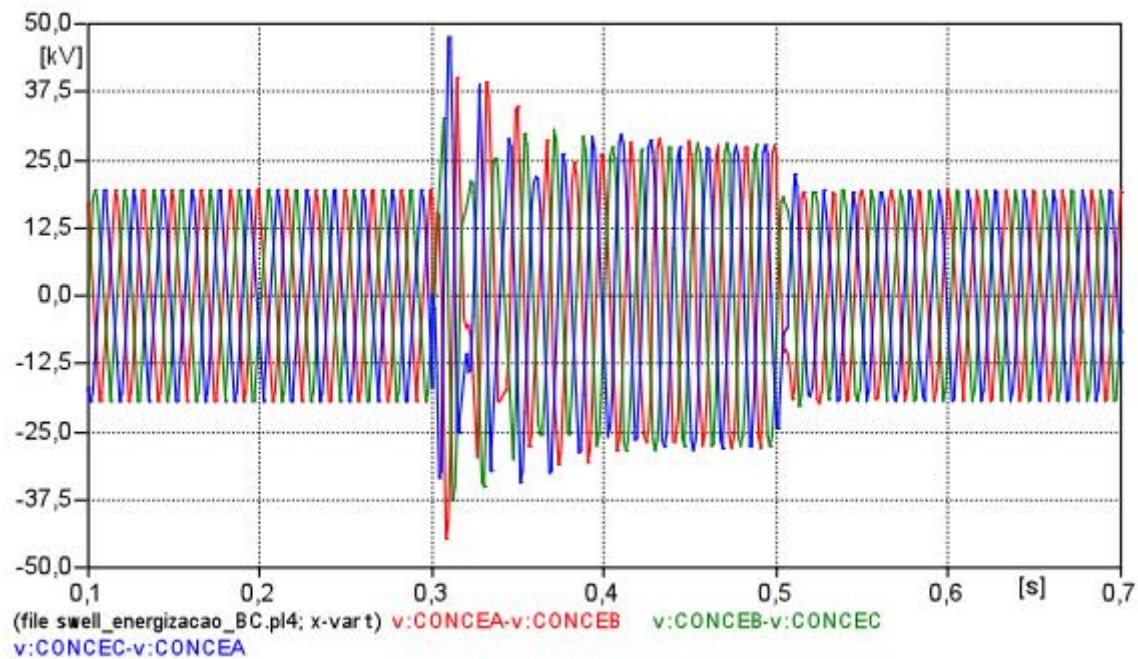
Elevação de Tensão

- Neste sistema, o banco de capacitores é energizado 200ms antes da conexão da carga ao barramento.



Elevação de Tensão

- Tensões de linha no barramento da concessionária.



Consequências da elevação de tensão de curta duração

- Falhas dos componentes, dependendo da frequência de ocorrência do distúrbio. Dispositivos eletrônicos, computadores e controladores eletrônicos, podem apresentar falhas imediatas durante estas condições.
- Redução da vida útil de transformadores, cabos, barramentos, dispositivos de chaveamento, TPs, TCs e máquinas rotativas;



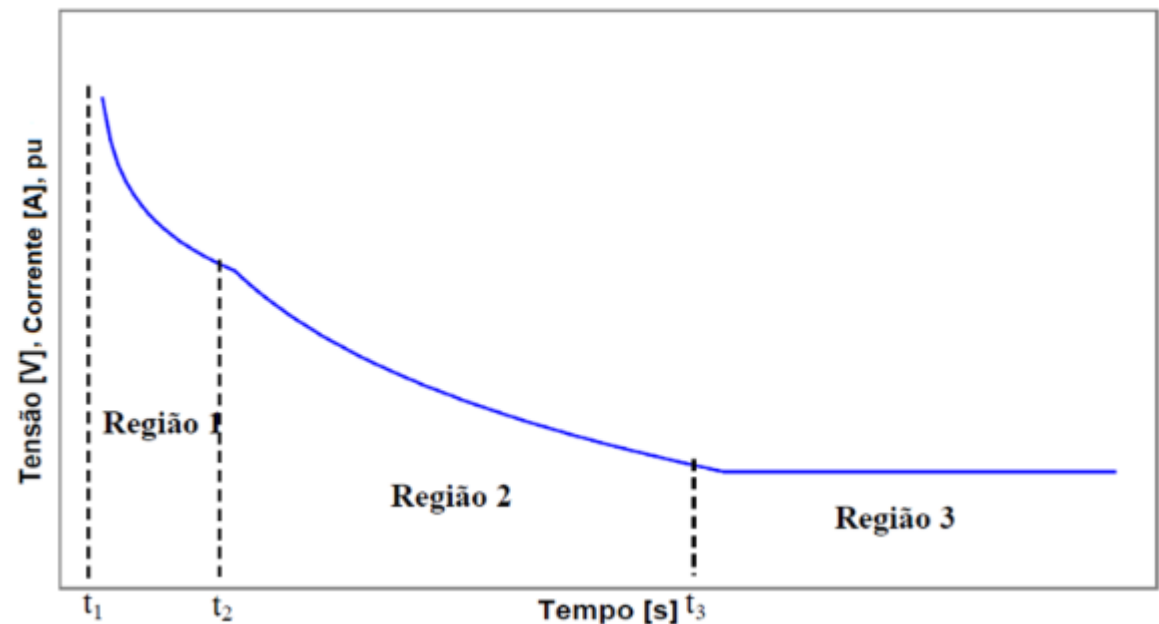
Consequências da elevação de tensão de curta duração

- Má operação de relés, enquanto outros podem não ser afetados.
- Uma elevação de tensão em um banco de capacitores pode, frequentemente, causar danos no equipamento.
- Aparelhos de iluminação podem ter um aumento da luminosidade durante uma elevação.



Consequências da elevação de tensão de curta duração

- Vale ressaltar que a suportabilidade de um equipamento não depende apenas da magnitude da elevação, mas também do seu período de duração.
- Caso o fenômeno ocorrido na rede conduza a valores de tensão ou corrente abaixo da curva indicada, então se tem uma condição operacional sem riscos probabilísticos de danos.



Confiabilidade das curvas de suportabilidade

- As dificuldades detectadas envolvem questões como:
 - Diversidade de fabricantes;
 - Inexistência de normas a serem atendidas;
 - Tempo de uso de produtos



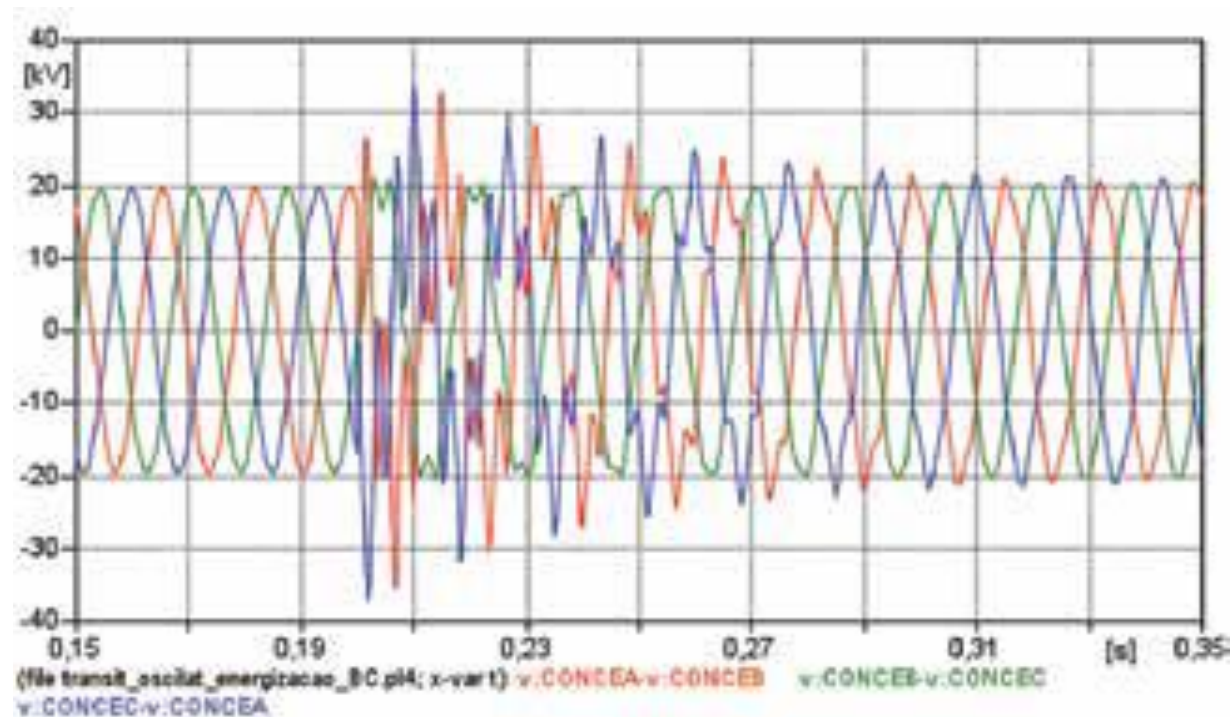
Região 1

- Transitórios impulsivos de alta frequência que tipicamente ocorrem a partir da incidência de descargas atmosféricas.



Região 2

- Transitórios oscilatórios de baixa frequência, como energização de um banco de capacitores.



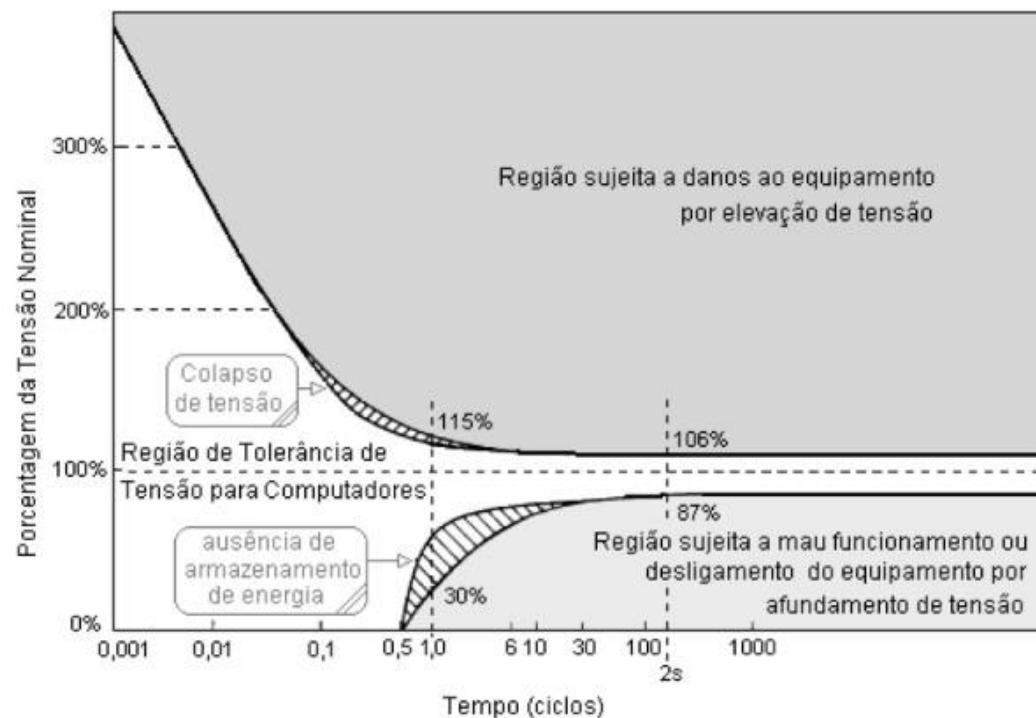
Região 3

- Esta região caracteriza as tolerâncias em regime permanente, com aplicação de uma tensão eficaz constante máxima de 10% acima do valor nominal por um período indefinido de tempo.

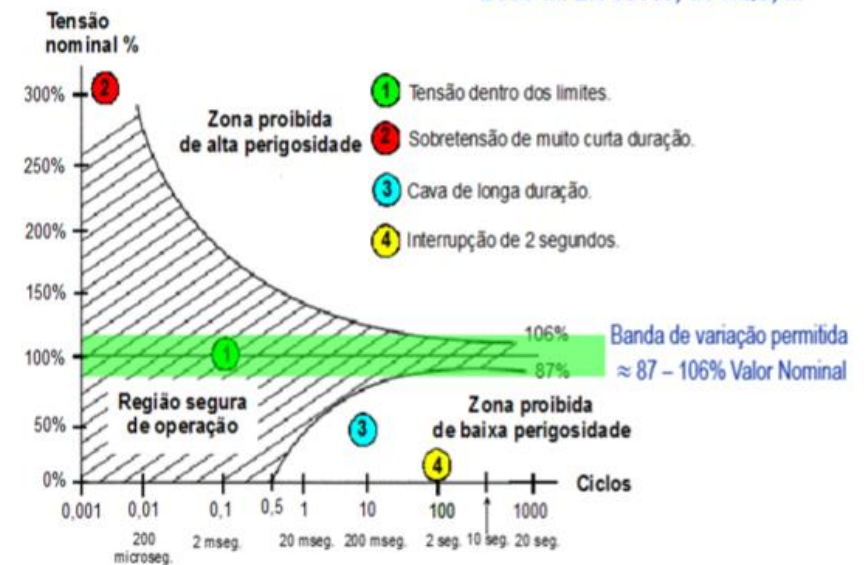
Curva CBEMA

- Define os limites de tolerância para computadores no que tange a distúrbios de tensão no sistema elétrico.

Curva CBEMA



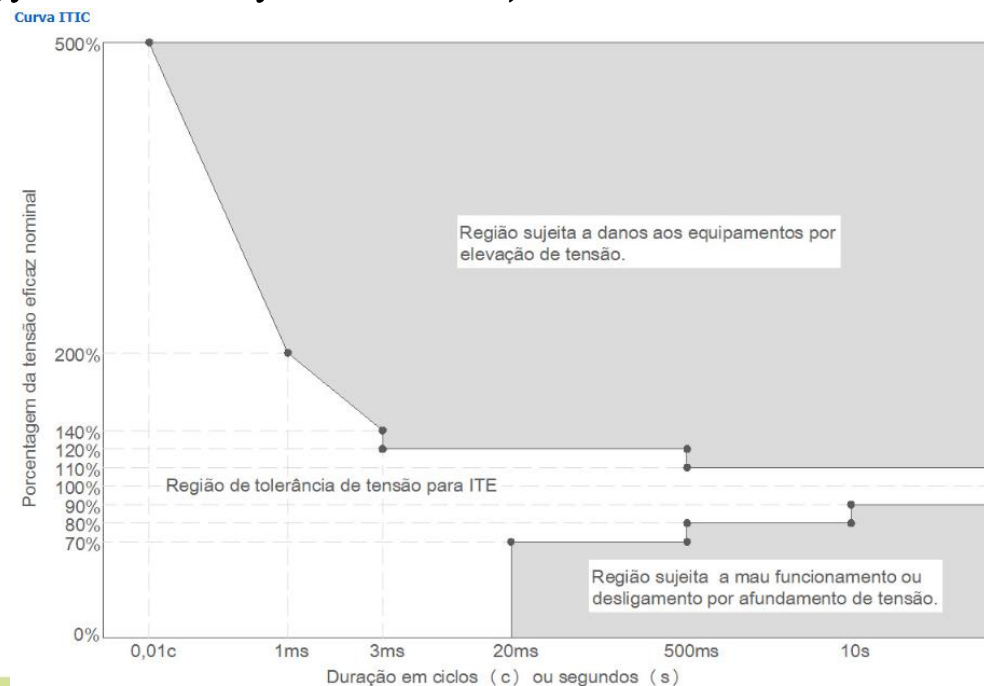
Base da EN 50160, do RQS, ...



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

Curva CBEMA

- Apesar da curva CBEMA ter sido originalmente proposta para caracterizar a sensibilidade de computadores, ela tem sido utilizada para outros equipamentos eletro-eletrônicos. Desta forma, esta foi revisada e modificada para caracterizar melhor a sensibilidade destes equipamentos, surgindo então a curva ITIC (Information Technology Industry Council).



Desequilíbrio de Tensão

- O desequilíbrio de tensão é o fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, ou na defasagem elétrica de 120° entre as tensões de fase do mesmo sistema (PRODIST).
- Sistema ideal:

$$V_a = 1,0 \angle 0^\circ$$

$$V_b = 1,0 \angle -120^\circ$$

$$V_c = 1,0 \angle +120^\circ$$

Fator de desequilíbrio de tensão (FD%)

- a razão entre os componentes ou de sequência negativo ou zero, com o componente de sequência positivo (IEC e PRODIST).

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} \times 100 [\%]$$

FD% = fator de desequilíbrio de tensão;

V- = magnitude da tensão eficaz de sequência negativa na frequência fundamental; e

V+ = magnitude da tensão eficaz de sequência positiva na frequência fundamental.

Fator de desequilíbrio de tensão (FD%)

- Alternativamente, pode-se usar a expressão conhecida como CIGRÉ-C04, que é dada por (PRODIST): a razão entre os componentes ou de sequência negativo ou zero, com o componente de sequência positivo (IEC e PRODIST).

$$FD\% = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} [\%]$$

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2}$$

V_{ab} , V_{bc} e V_{ca} = magnitudes das tensões eficazes de linha na frequência fundamental.

Fator de desequilíbrio de tensão (FD%)

- Os limites para o indicador de desequilíbrio de tensão FD95% estão apresentados na abaixo (PRODIST)

Limites para o indicador de desequilíbrio de tensão

Indicador	Tensão nominal (V_n)	
	$V_n < 2,3 \text{ kV}$	$2,3 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
FD95%	3,0%	2,0%

Fator de desequilíbrio de tensão (FD%)

- o IEEE recomenda que o desequilíbrio trifásico possa ser obtido pela seguinte relação:

$$VUF = \frac{3 \cdot (V_{MAX} - V_{MIN})}{V_A + V_B + V_C} \cdot 100 \%$$

Desequilíbrio de tensão

- Origens:
 - sistemas de distribuição, os quais possuem cargas monofásicas distribuídas inadequadamente, fazendo surgir no circuito tensões de sequência negativa.
 - consumidores alimentados de forma trifásica possuem uma má distribuição de carga em seus circuitos internos;
 - resultado da queima de fusíveis em uma fase de um banco de capacitores trifásicos.

Desequilíbrio de tensão

- Podem provocar problemas indesejáveis em:
- **Motores de Indução:** indesejável interação entre os dois campos (oriundos da seq. Positiva e negativa), o que resulta num conjugado pulsante no eixo da máquina além de elevações de temperatura típicas (redução da expectativa de vida útil dos motores).



Desequilíbrio de tensão

- **Máquinas síncronas:** provoca perdas no rotor, principalmente no enrolamento de amortecimento, que possui baixa impedância onde, conseqüentemente, a corrente será mais elevada.
- **Retificadores:** passam a gerar, além das correntes harmônicas características, o terceiro harmônico e seus múltiplos.
 - possibilita manifestação de ressonâncias não previstas, visto que não é prática a instalação de filtros de terceiro harmônico em instalações desta natureza e, isto pode causar danos a uma série de equipamentos.

[SALA DE IMPRENSA](#) > [RELEASES](#)

CEMIG INVESTE MAIS DE R\$ 200 MILHÕES PARA MODERNIZAR PARQUE DE MEDIDORES DE ENERGIA

COMPARTILHAR:



.Em duas iniciativas paralelas, cerca de 850 mil equipamentos estão sendo trocados por medidores mais modernos e tecnológicos

[NOTÍCIAS](#) > [INVESTIMENTOS](#)

CEMIG INVESTE MAIS DE R\$ 22,5 BILHÕES PARA IMPULSIONAR O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO EM MINAS

COMPARTILHAR:



.Construção de 200 subestações vai melhorar a qualidade do serviço prestado. Companhia também prepara a conversão e interligação de 25.000 km de redes monofásicas para trifásicas nas áreas rurais

Qual a motivação para esses investimentos?



Destques – Medidores (Reportagem 1)

- “A substituição dos medidores está amparada pelo artigo 228 da resolução Aneel 1000, de 07/12/2021, que prevê que a distribuidora “é responsável por instalar, operar, manter e arcar com a responsabilidade técnica e financeira dos medidores e demais equipamentos de medição para fins de faturamento em unidade consumidora e em distribuidora a ela conectada”;
- De acordo com Daniel Senna Guimarães, engenheiro da Cemig, todo medidor possui um tempo de vida útil. Por isso, a Cemig busca otimizar seus equipamentos, substituindo medidores antigos por aparelhos que utilizam tecnologia recente e que apresentam maior confiabilidade. **“Uma das principais vantagens é que o novo medidor traz mais segurança na obtenção dos dados e agilidade aos leituristas na coleta de dados para o faturamento. Para o cliente, o equipamento moderno oferece mais facilidade no acompanhamento do consumo mensal”**

Destques – Medidores (Reportagem 1)

- “ a Cemig também tem expandido seus investimentos nos chamados “medidores inteligentes”, no sentido de buscar uma maior eficiência operacional e o contínuo aprimoramento tecnológico de seus ativos.”
- “Haverá aumento na qualidade do atendimento de serviço, principalmente na detecção de falta de energia. Outros benefícios são a monitoração mais efetiva na qualidade da energia e, futuramente, a possibilidade da disponibilização de dados de consumo para os nossos clientes com medição inteligente por meio dos canais digitais de atendimento, como o Cemig Atende Web e o aplicativo Cemig Atende”
- Já para a Cemig, os principais ganhos com a instalação dos medidores inteligentes são a melhoria nos atendimentos aos clientes, promovendo maior continuidade no fornecimento de energia; a efficientização de processos internos da companhia; a melhoria na qualidade do sistema elétrico de potência e o incremento no uso de fontes renováveis; além da redução de perdas e da otimização de custos operacionais.

Destques – Desenvolvimento (Reportagem 2)

- Para o CEO da companhia, o grande foco da Cemig é, “de fato, **transformar a vida dos mineiros com a nossa energia**. É o que significam todos esses investimentos. O objetivo é que, em vez de perguntar quanto tempo demora uma nova conexão, por exemplo, termos conexão disponível para quem quiser investir em Minas. Dessa forma, vamos praticamente eliminar a demanda por energia em nosso estado. É isso que a Cemig deseja, prover infraestrutura para estimular o desenvolvimento econômico de Minas gerais”.
- Os investimentos têm, como objetivos, melhorar a qualidade do serviço prestado e promover a digitalização do atendimento, para atuar junto aos mais de 8,7 milhões de clientes de forma eficaz e integrada. **A meta da empresa é ser líder no setor de distribuição de energia no Brasil em experiência e satisfação na opinião dos clientes.**

Destques – Desenvolvimento (Reportagem 2)

- Atualmente, a Cemig também se prepara para dar início ao programa Minas Trifásico, com o objetivo de converter redes monofásicas em trifásicas no interior do estado, possibilitando a transformação da agricultura de subsistência do pequeno e médio produtor rural em agronegócio.
- As primeiras obras do programa vão atender as localidades que apresentam restrição de carga para as necessidades do desenvolvimento da vocação regional do agronegócio, que será extremamente beneficiado com esse novo programa. Dessa forma, os investimentos da Cemig permitirão a potencialização acelerada do agronegócio local, gerando novas oportunidades de negócio e renda.



Dúvidas?!

Obrigado!

Victor Dardengo

GESEP - Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência

E-mail: victor.dardengo@ufv.br