

# Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs)

Segundo o IEEE, tais fenômenos englobam tempos desde 0,5 ciclo até 1 minuto.

“voltage sag”: afundamento (depressão, redução) a tensões compreendidas entre 0,1 e 0,9 pu. (redução a tensões inferiores a 0,1 pu, o fenômeno é classificado como interrupção de curta duração).

“swell” elevações (saliências) de tensão de curta duração a níveis acima de 1,1 pu.



# Causas Principais de VTCDs

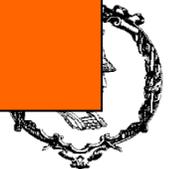
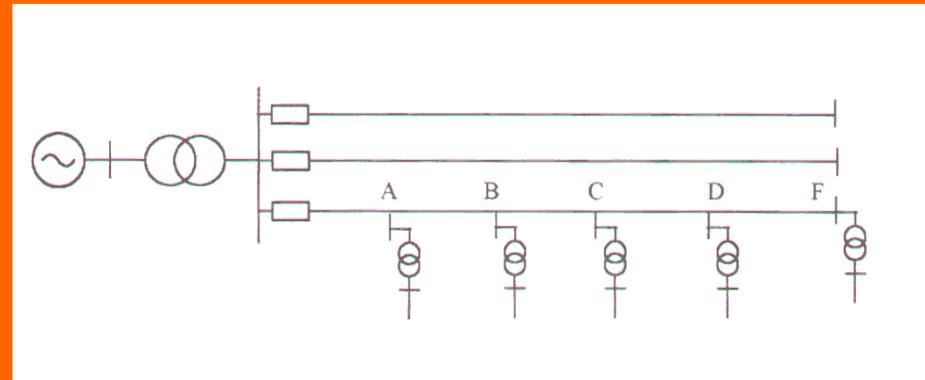
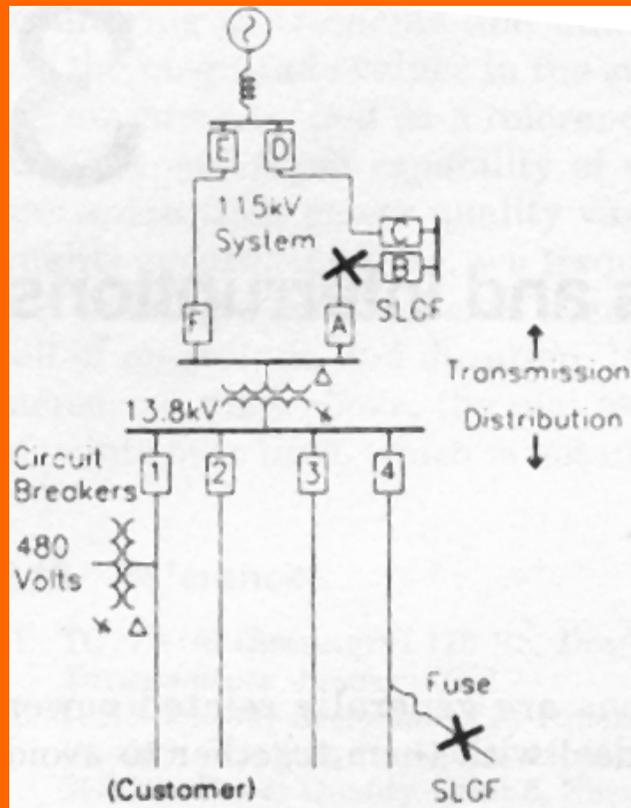
## Ocorrência de faltas na rede elétrica (caráter aleatório)

Nos defeitos mais frequentes (fase-terra), há o surgimento de um transitório de curtíssima duração (alguns ciclos, no máximo), com afundamento da tensão na fase defeituosa e, geralmente, elevação de tensão nas fases sãs. Verifica-se este comportamento não só no alimentador onde se dá o defeito, mas pelo menos em todos aqueles alimentados pela mesma subestação supridora, perdurando até que seja acionada a proteção da rede.



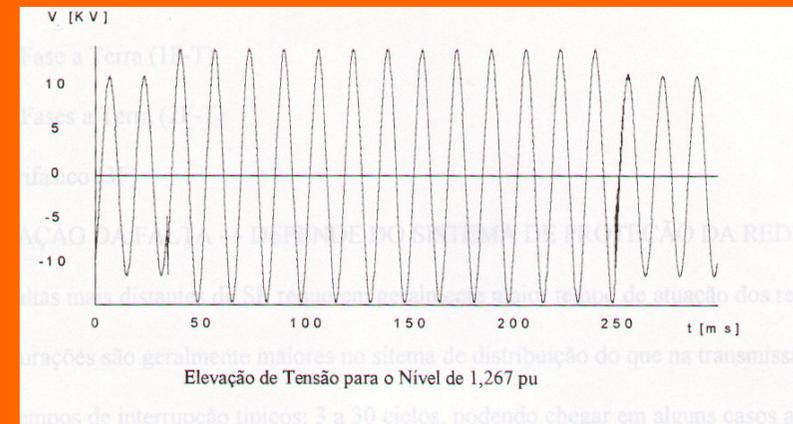
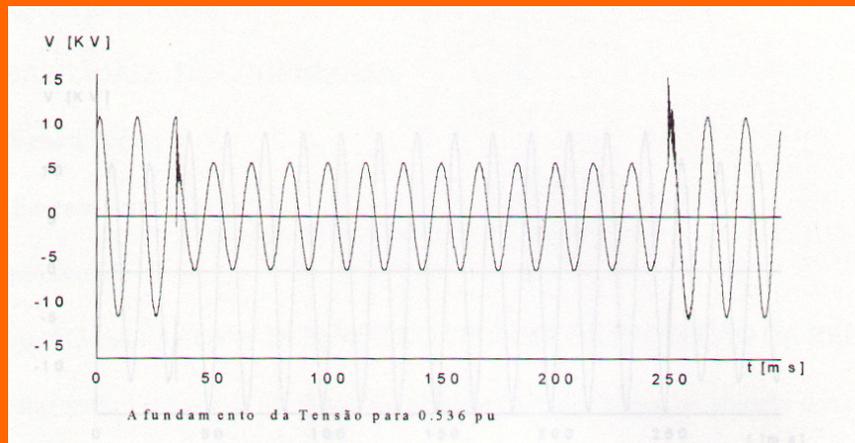
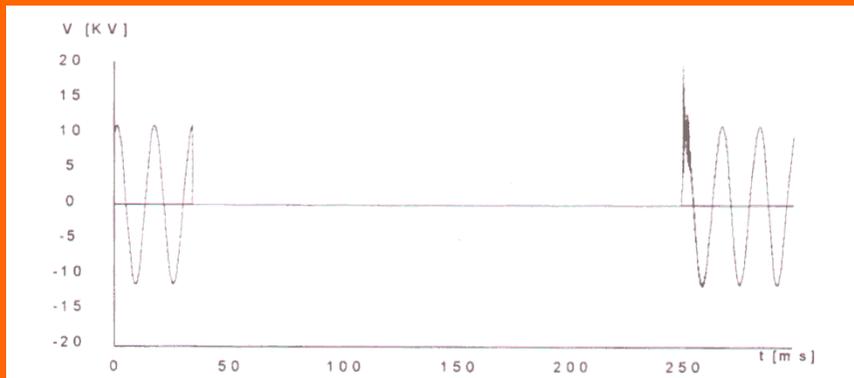
# Fenômenos na Qualidade de Energia

## Variações de Curta Duração



# Fenômenos na Qualidade de Energia

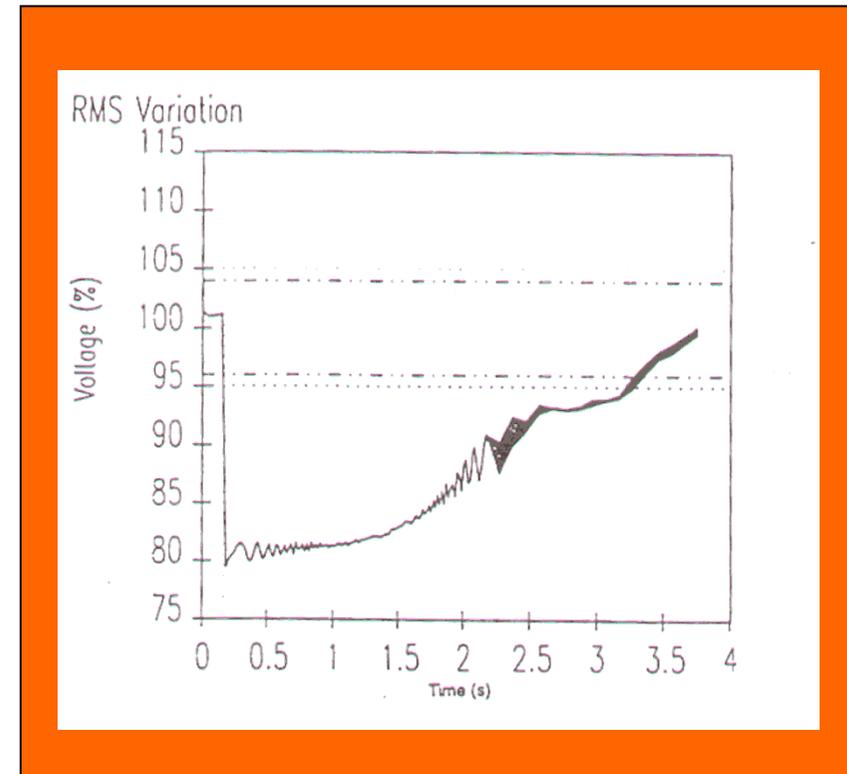
## Variações de Curta Duração



# Causas Principais de VTCDs

manobras de grandes cargas na rede, principalmente partida de grandes motores.

No caso da partida de grandes motores de indução, cuja corrente associada pode atingir de 6 a 10 vezes o valor da corrente nominal, a queda de tensão também pode ser significativa



# Susceptibilidade dos Equipamentos

A ocorrência de afundamento de tensão pode causar sérios prejuízos a consumidores industriais.

Com a utilização cada vez maior de equipamentos eletrônicos no controle de processos, tais como PLCs (Controladores Lógicos Programáveis) e ASDs (Acionamentos de Velocidade Variável), que são vulneráveis a variações de tensão, a questão do controle e limitação das variações momentâneas de tensão se torna fundamental na eficiência do processo produtivo.



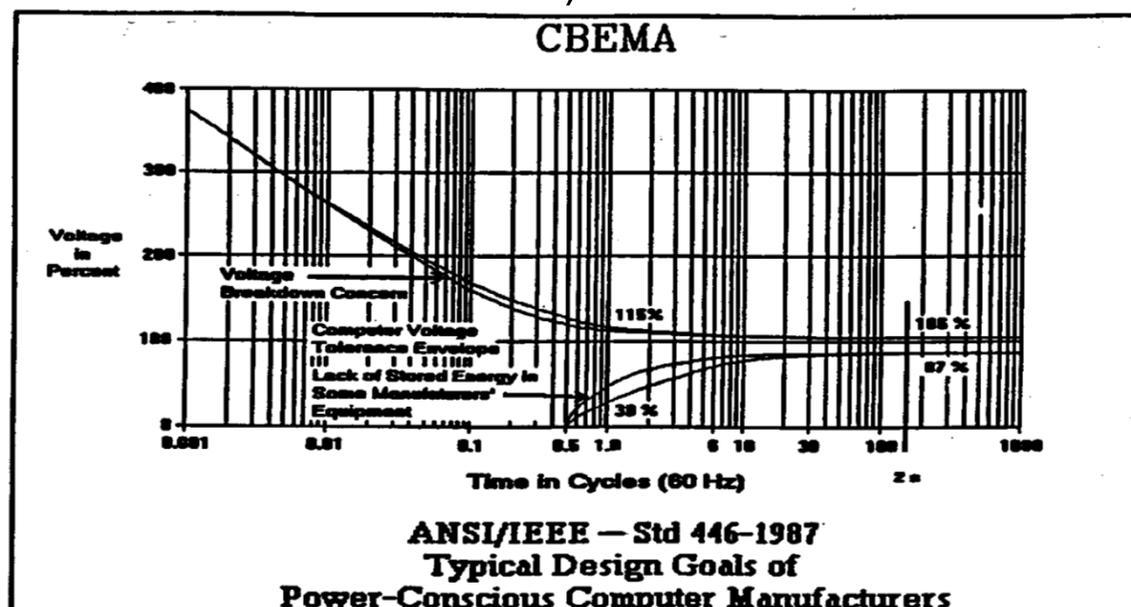
# Susceptibilidade dos Equipamentos

Equipamentos de informática:

norma do IEEE (Std 446 de 1987 e atualizada em 1995)

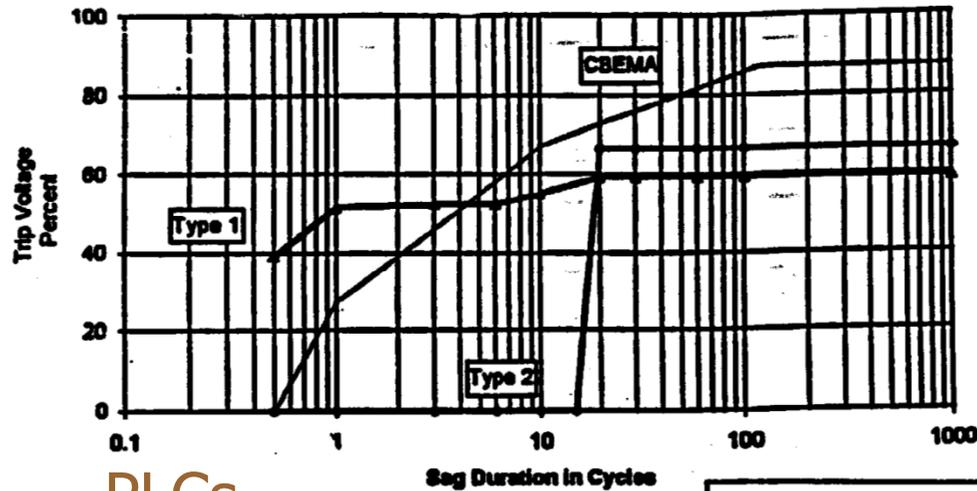
curva da CBEMA (Computer Business Equipment

Manufacturers Association).



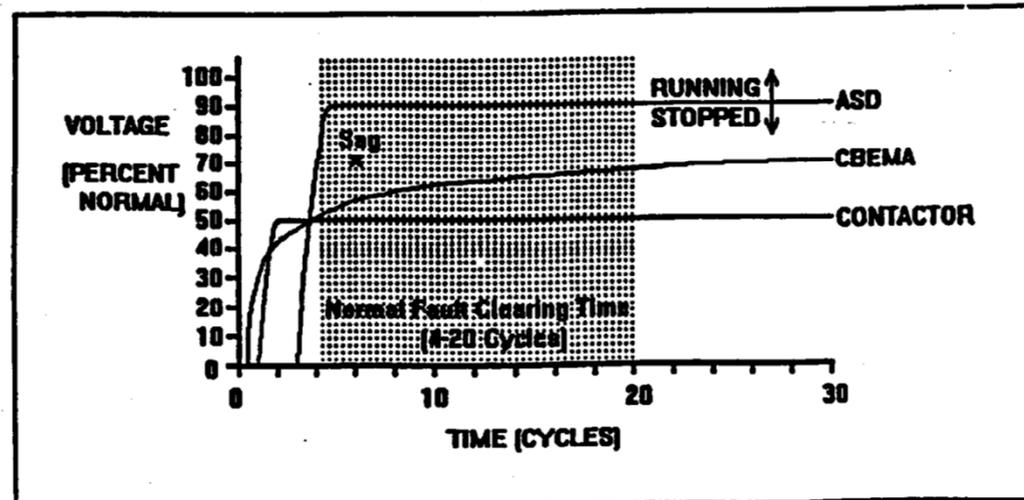
# Susceptibilidade de PLCs e ASDs

Programmable Logic Controllers



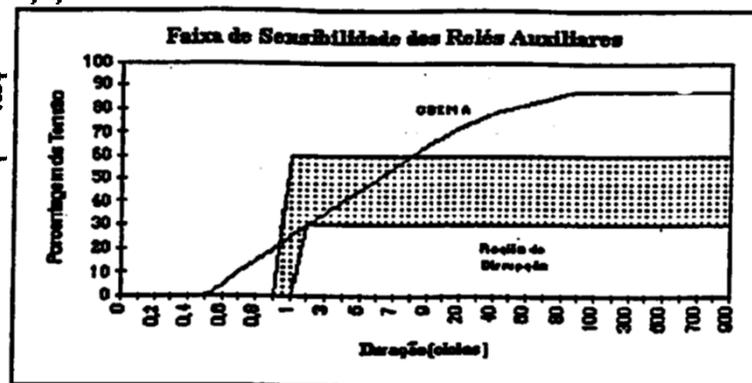
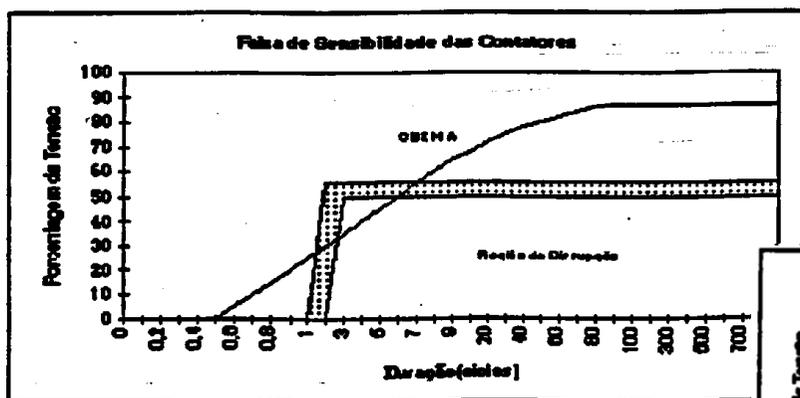
PLCs

ASDs

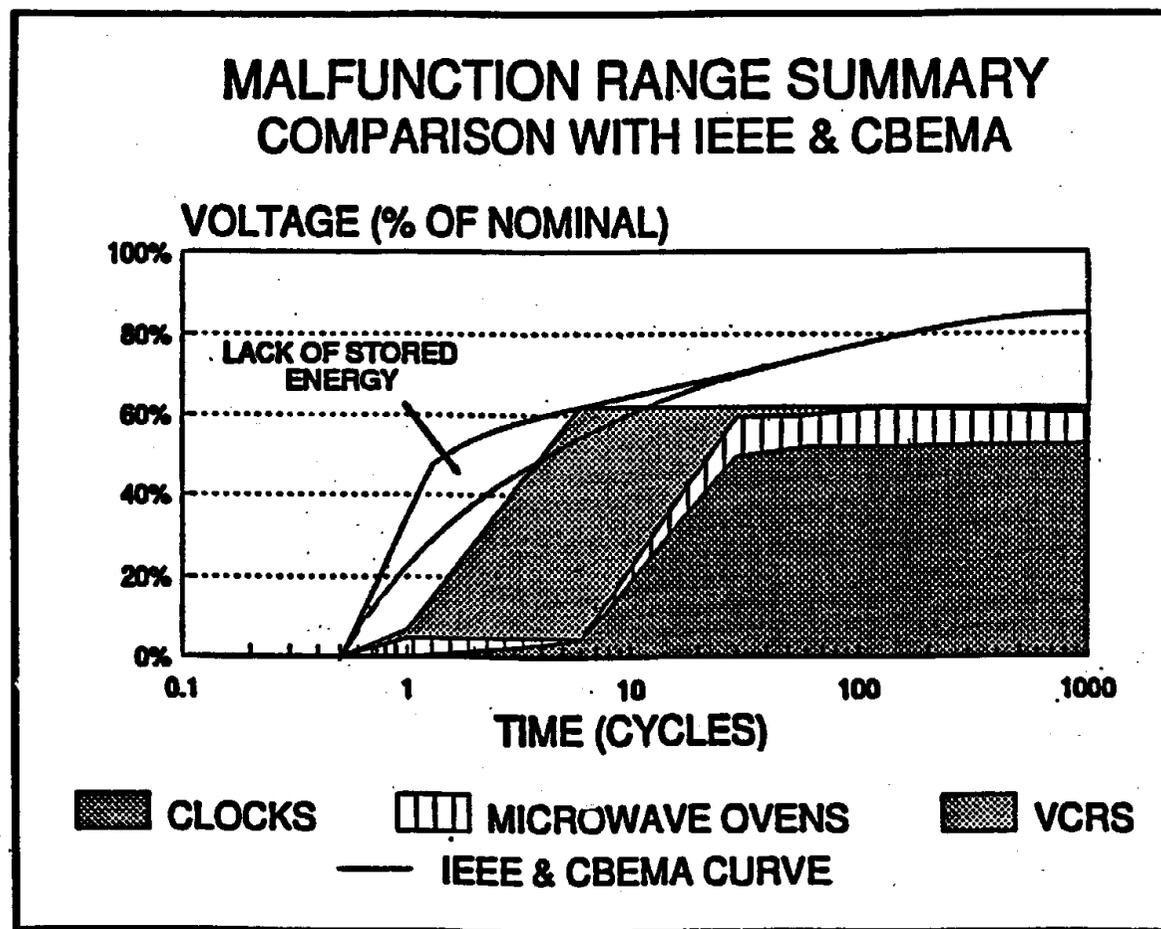


# Susceptibilidade de Contatores

Atuação indevida de contatores e relés auxiliares, devido a falha de energização das bobinas dos primeiros;



# Equipamentos Eletrodomésticos



# Susceptibilidade dos Equipamentos

Extinção de lâmpadas de descarga, que necessitam de uma tensão mínima para seu funcionamento:

As lâmpadas de mercúrio se extinguem quando a tensão cai por volta de 80 % da tensão nominal e requerem um certo tempo para se reacenderem.

Perda de sincronismo de máquinas síncronas.



# Equipamentos Mais Sensíveis

## Industriais:

- Acionamentos de velocidade variável;
- Microcomputadores;
- Controladores lógicos programáveis;
- Contatores.

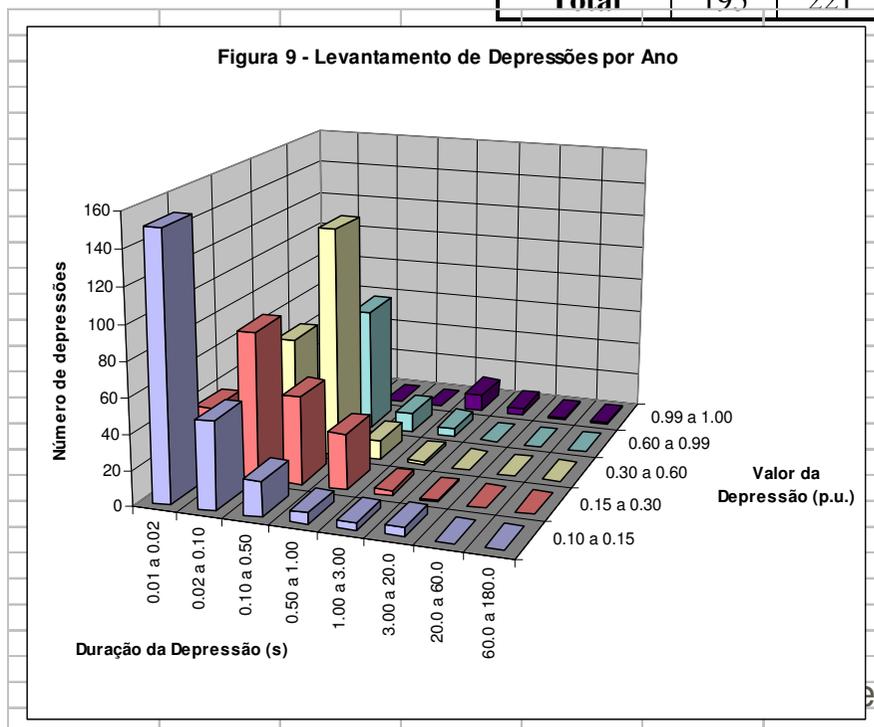
## Residenciais

- Microcomputadores;
- Aparelhos de videocassete;
- Forno microondas;
- Relógios digitais.



# Exemplo de Monitoramento

Amplitude (pu)	Duração (s)								Total
	0.01 a 0.02	0.02 a 0.10	0.10 a 0.50	0.50 a 1.00	1.00 a 3.00	3.00 a 20.0	20.0 a 60.0	60.0 a 180.0	
0.10 a 0.15	151	50	20	6	4	5	0	0	236
0.15 a 0.30	38	84	50	32	3	1	0	0	208
0.30 a 0.60	6	65	132	11	2	0	0	0	216
0.60 a 0.99	0	22	71	11	5	0	0	0	109
0.99 a 1.00	0	0	0	0	10	4	1	1	16
<b>Total</b>	195	221	273	60	24	10	1	1	785



37 pontos

saídas de SEs  
138/13.8kV

1 ano

Amantegui, J. et alli.

“Characterisation of Voltage Dips in Electrical Networks and their Impact on Customer Installations”. CIGRE Task

energia Force 36-104.



# Medidas Preventivas

Agir nas causas das mesmas;

Atuar na sensibilidade dos equipamentos.

CUSTO/ BENEFÍCIO



# Atuação nas Causas

- Alterações e reforços na rede elétrica:
  - Cabos multiplexados (taxa de ocorrência);
  - Impedâncias dos cabos (amplitude);
  - Rede subterrânea (taxa de ocorrência);
  - Maior potência de curto-circuito (amplitude e duração);
  - Maior número de alimentadores, com alguns dedicados a cargas mais importantes (amplitude).

## Sistema de proteção:

- Tempos de atuação e número de ciclos de abertura do religador.
- Proteções digitais (duração).

## Procedimentos operacionais por parte da empresa concessionária:

- Programa periódico de poda de árvores;
- Programa de limpeza de isoladores;
- Programa de manutenção preventiva;
- Programa de monitoramento das conexões elétricas da rede.



# Atuação na Sensibilidade Dos Equipamentos

Deve-se também contemplar a possibilidade futura de se ter equipamentos menos sensíveis, através principalmente das seguintes ações:

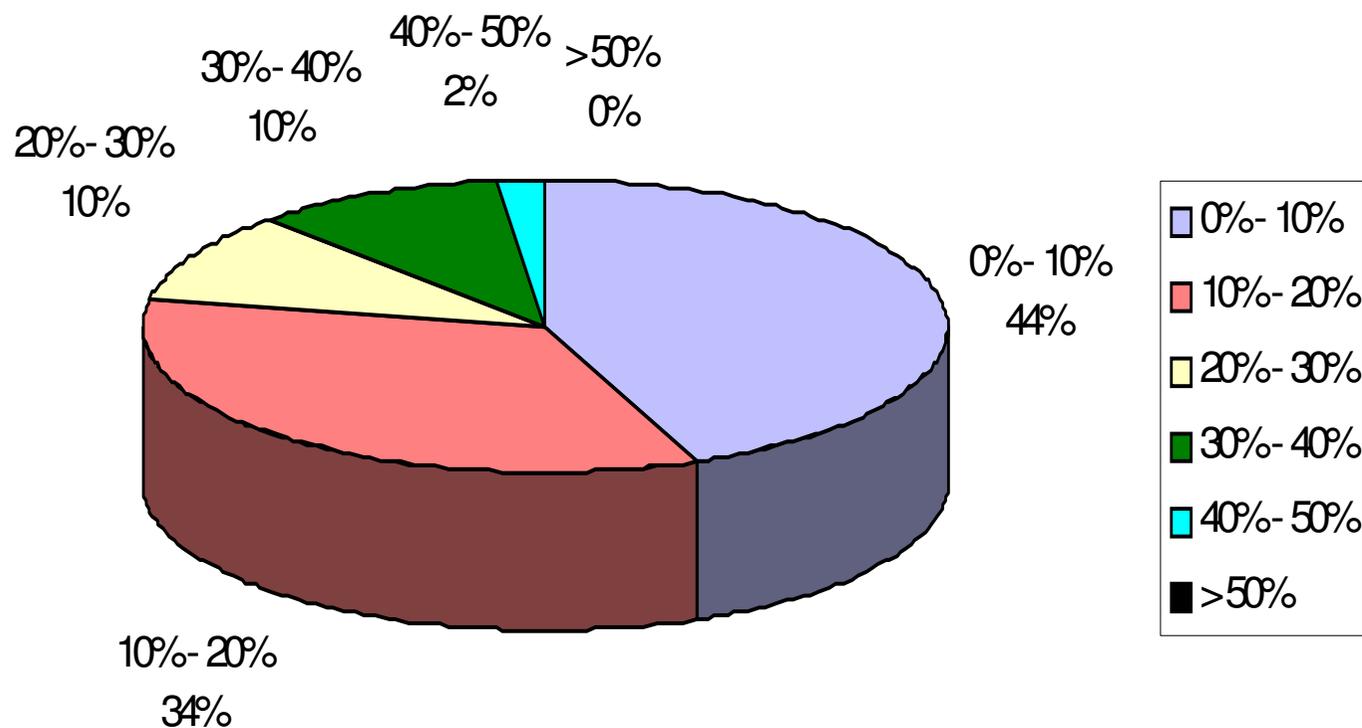
- Especificação e fabricação de componentes com menor sensibilidade (ação a longo prazo);

- Fabricação de equipamentos que incluam fontes internas para casos de contingências.

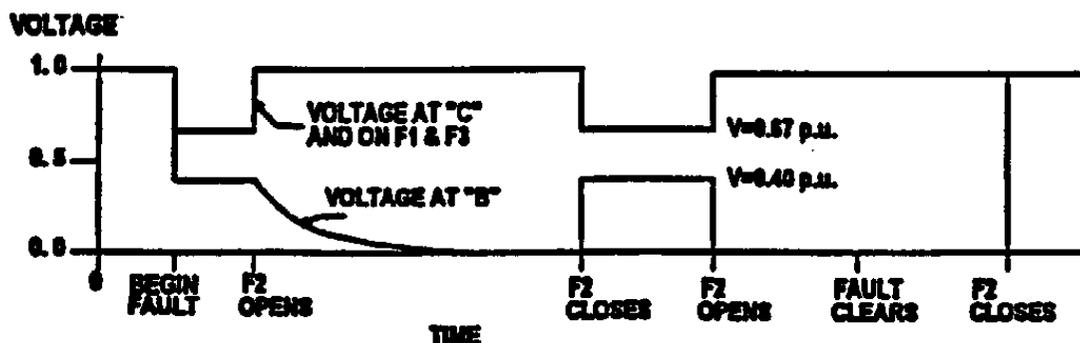
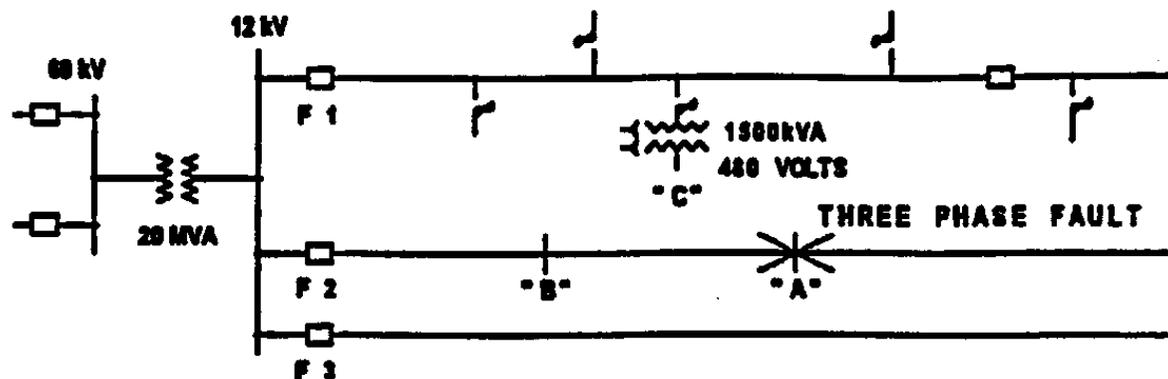
Outra medida que pode ser contemplada é a Instalação de recuperadores dinâmicos de tensão (Dynamic Voltage Restore - DVR). Estes equipamentos podem ser justificáveis para cargas grandes e muito importantes, dado seu alto custo.



# Magnitude de VTCDs em um consumidor industrial



# Exemplo de VTCD devido a defeito em rede de distribuição





Entre os principais fatores que influenciam os afundamentos de tensão estão:

Tipo de Falta;

Localização da Falta;

Impedância de Falta;

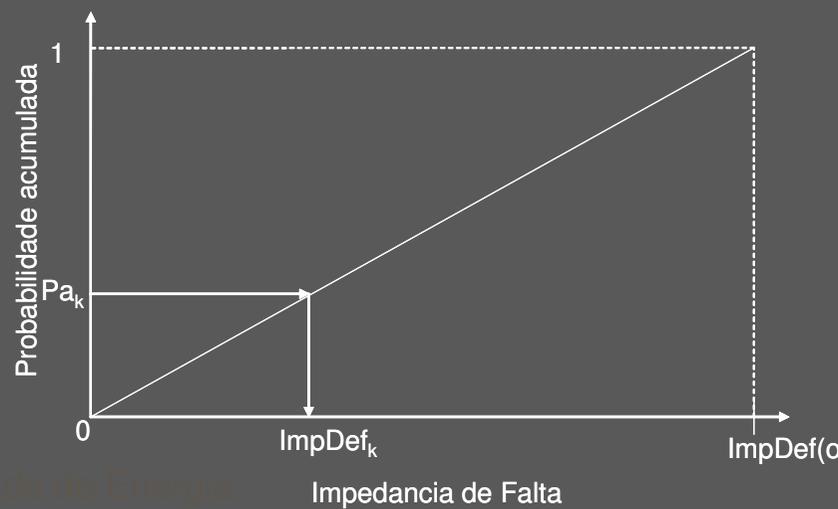
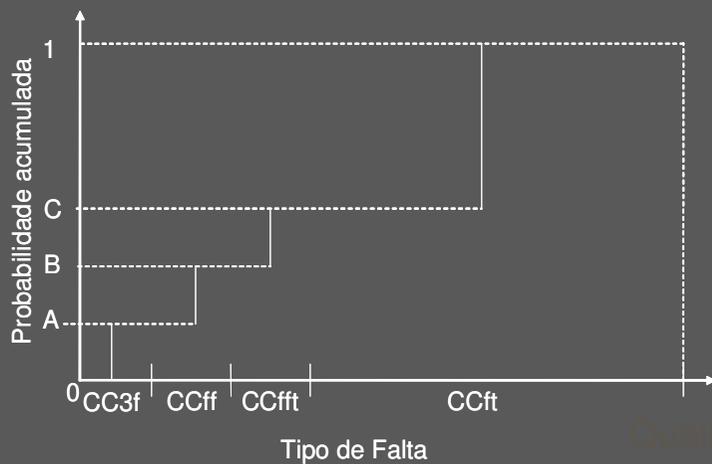
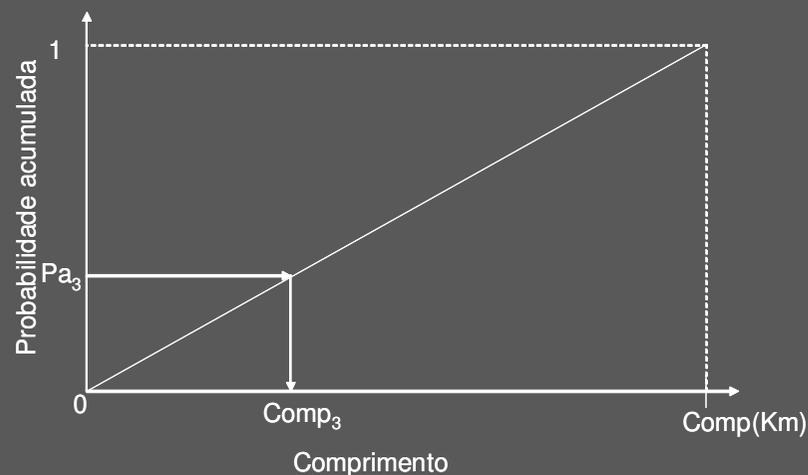
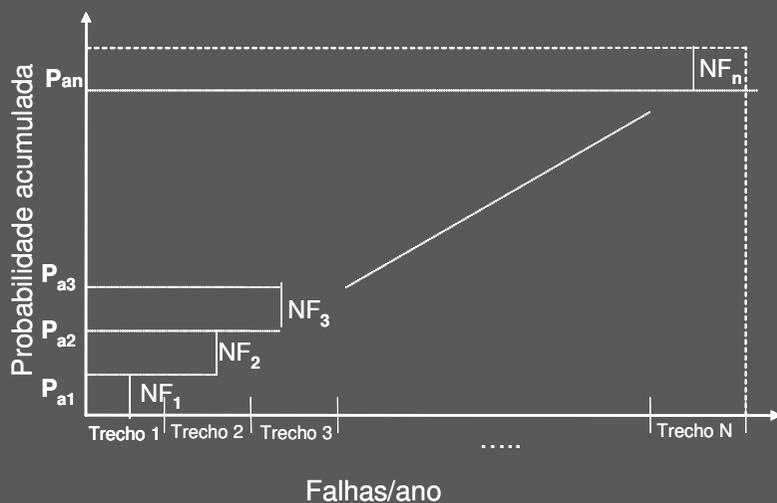
Conexão dos Transformadores;

Tensão Pré-falta;

Desempenho do Sistema de Proteção.



# Variáveis – distribuição de probabilidades

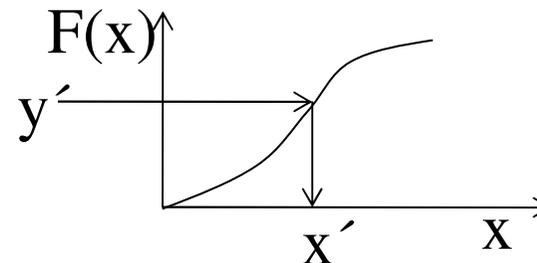


# Método de Monte Carlo

O método de Monte Carlo consiste em serem simulados diferentes cenários das combinações de variáveis aleatórias. Em cada cenário, são avaliadas as grandezas de interesse, no caso VTCDs nas barras em análise.

Assim, um cenário é estabelecido pela geração de 4 números aleatórios e, conforme distribuições de probabilidades, são determinados:

- Trecho em defeito
- Tipo de defeito
- Impedância de defeito
- Local do defeito

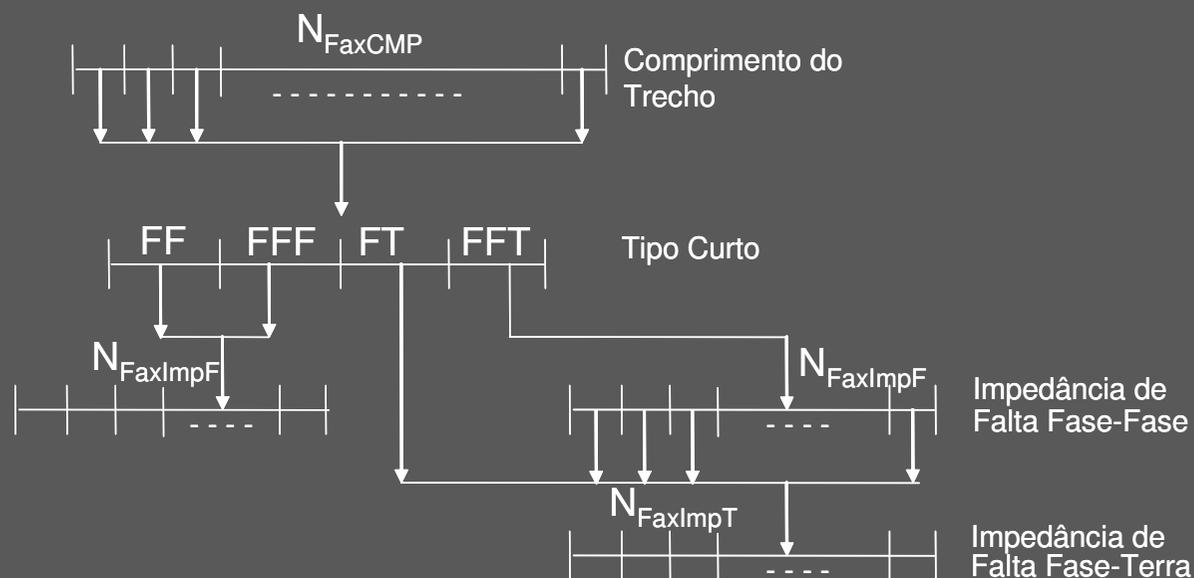


A partir destes valores, o programa de curto circuito avalia os valores correspondentes.



# Método Analítico – Enumeração de Estados

A metodologia Analítica, consiste:

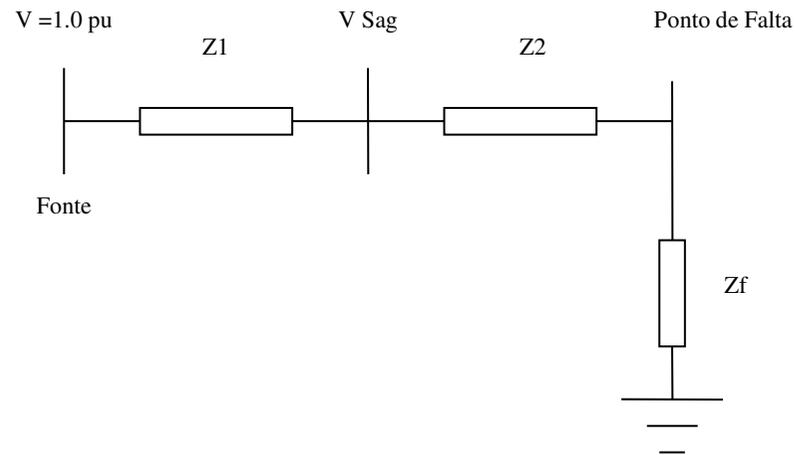


Cada faixa de cada variável possui um peso:

- Peso devido ao comprimento do trecho;
- Peso devido ao tipo de falta;
- Peso devido á resistência de falta;
- Peso total é a multiplicação destes pesos



# Exemplo de cálculo de VTCD



$$V_{\text{sag}} = \frac{Z_2 + Z_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f}$$

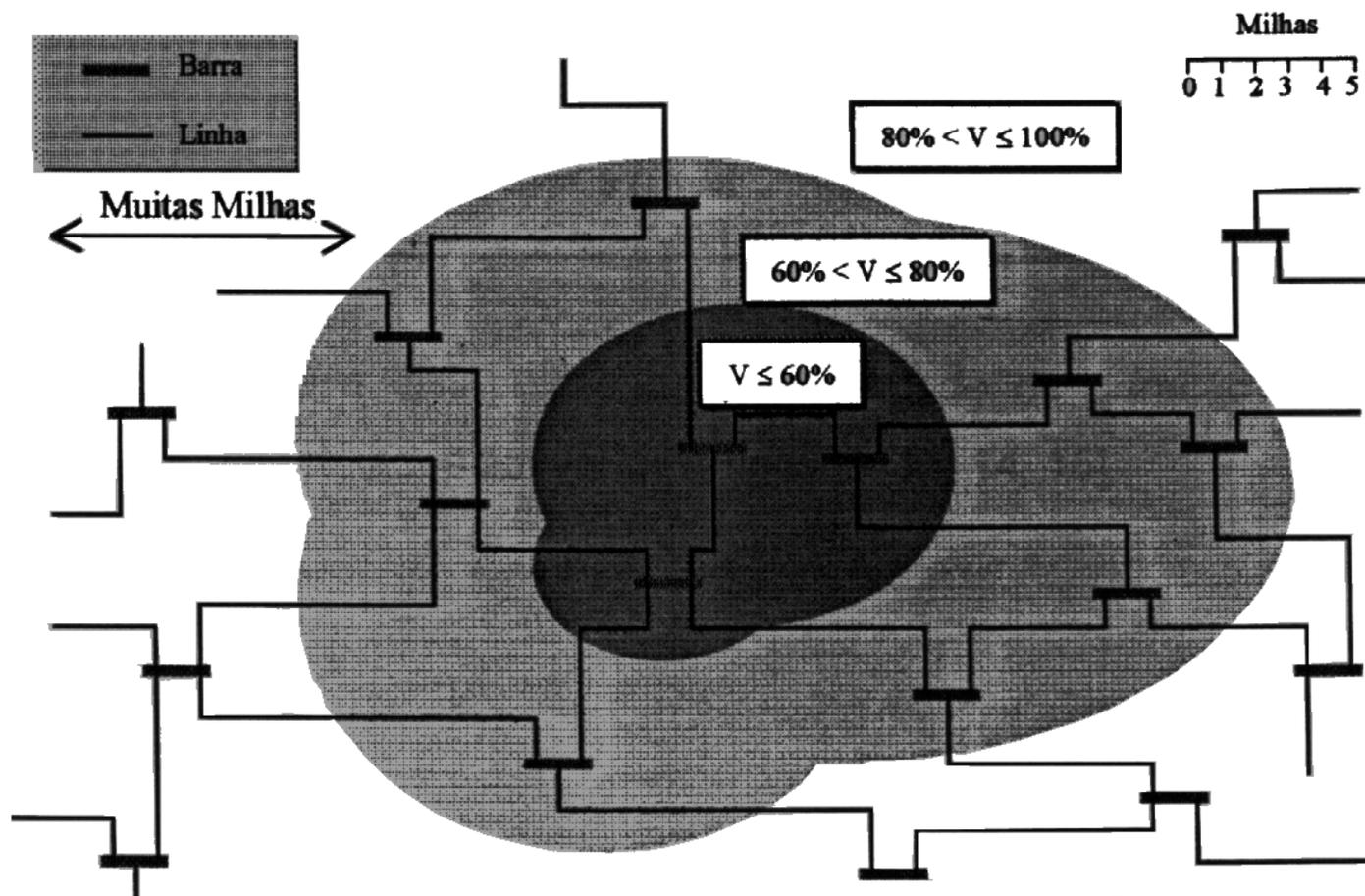


# Duração – tempos de típicos de eliminação de defeitos

Tipo de equipamento	Tempo de eliminação (ciclos)		Religamentos
	Valor mínimo típico	Atraso típico	
Fusível de expulsão	0.5	0.5 - 120	Nenhum
Fusível limitador de corrente	0.25 ou menos	0.25 - 6	Nenhum
Religador eletrônico	3.0	1.0 - 30	0 a 4
Disjuntor a óleo	5.0	1.0 - 60	0 a 4
Disjuntor SF6 ou a vácuo	2.0 - 3.0	1.0 - 60	0 a 4



# Área de vulnerabilidade para uma dada carga do sistema



# Protocolo de medição

Permitir, de forma fácil, a inclusão de metodologias adicionais de tratamento numérico, de forma que o mesmo equipamento possa ser utilizado nas diferentes fases do processo de regulamentação;

Realizar amostragem da tensão nas três fases com, no mínimo, 64 amostras por ciclo.

Caracterizar o início da ocorrência de VCD quando pelo menos uma das fases apresentar VCD e seu término quando todas as fases não a apresentarem;

Permitir que os valores-limite de caracterização de VCD (por exemplo entre 0.9 e 0.1 pu da tensão declarada para depressão, segundo algumas normas e acima de 1.1 pu da tensão declarada para saliência) sejam alterados, até mesmo durante o processo de medição;

Disponibilizar duração e amplitude de cada VCD; a amplitude será o valor máximo encontrado no período observado; a duração será o intervalo compreendido entre seu início e término;

Possibilitar uma forma de tratamento estatístico de uma bateria de variações de curta duração, de forma que se possa quantificar a taxa de ocorrência num determinado período (por exemplo um ano).



# Protocolo de medição

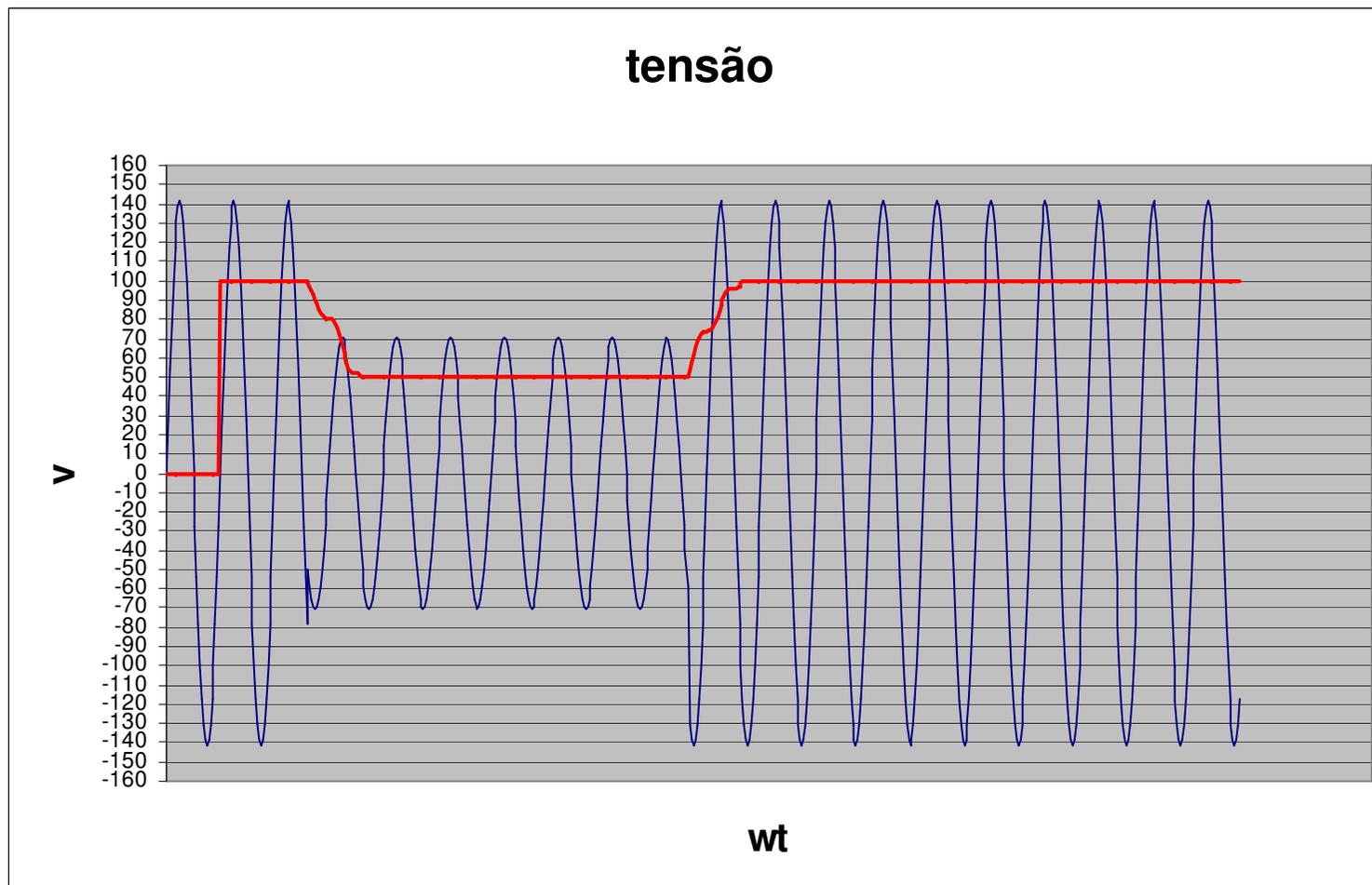
Os seguintes aspectos podem ser citados como os mais relevantes na detecção de variações de curta duração:

- a) quanto à forma de cálculo do valor eficaz
  - taxa de amostragem mínima necessária
  - intervalo de integração (janela) para cálculo do valor eficaz
  - instante inicial do intervalo de integração (deslocamento angular)
  - fórmula de cálculo do valor eficaz
  
- b) quanto às grandezas monitoradas
  - fase-neutro, fase-fase, ou outras
  - simultaneidade de medição das diferentes grandezas

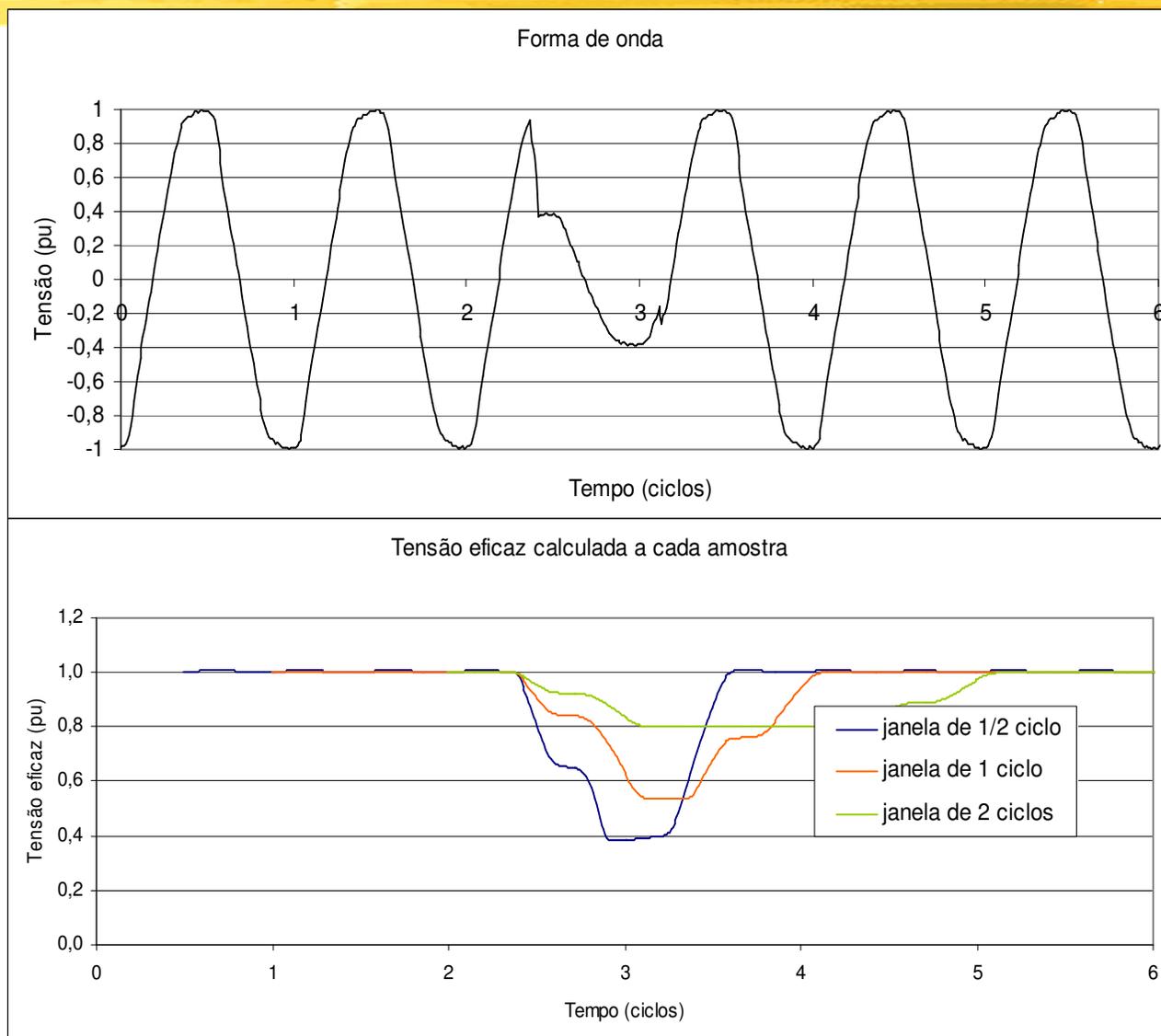


# Cálculo do valor eficaz a partir de amostragem

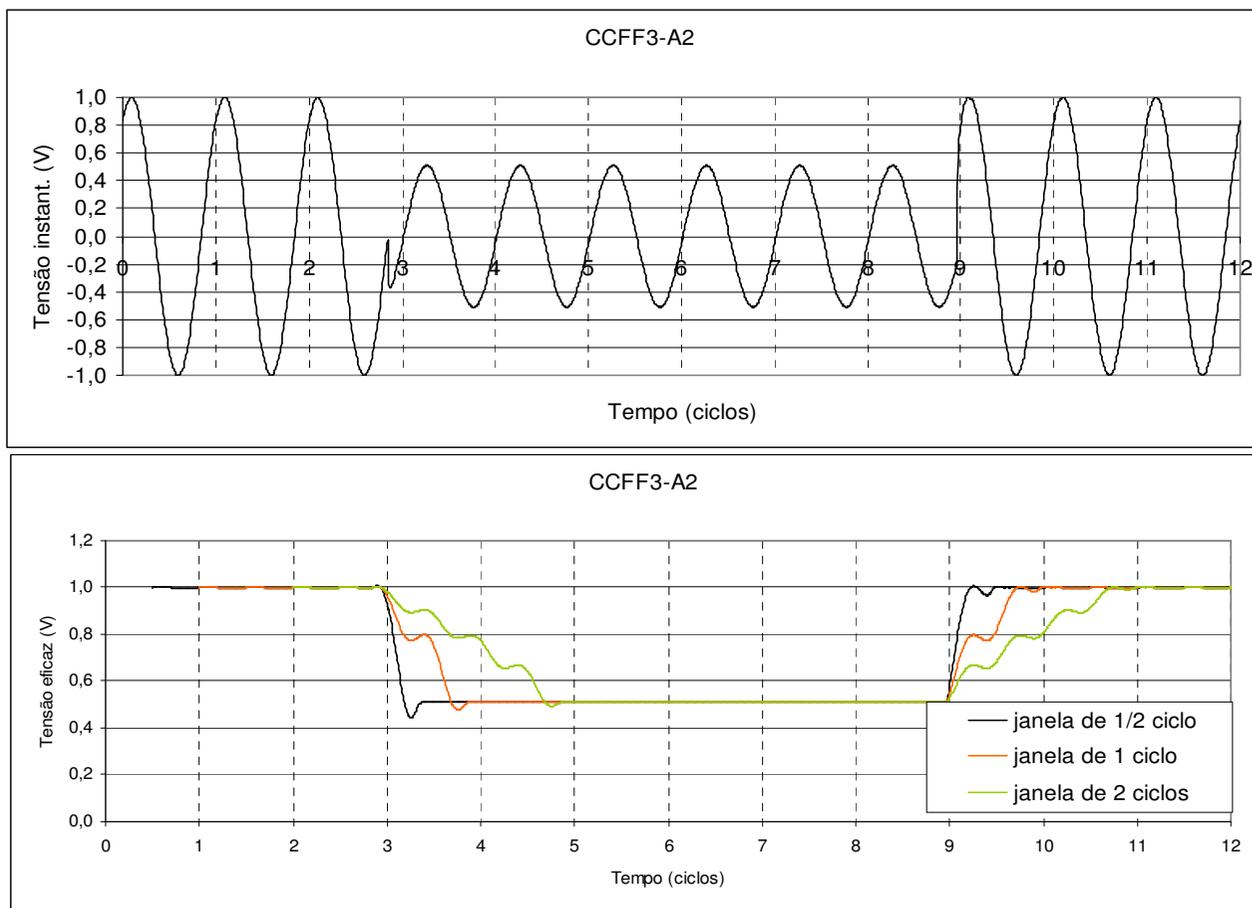
$$V_{ef} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N V_k^2}{N}}$$



# Tamanho da janela...



# Tamanho da janela...



# Indicadores - SARFI<sub>x</sub>

Um Indicador usado para a avaliação do desempenho do Sistema é SARFI<sub>x</sub> (System Average RMS (Variation) Frequency Index Voltage ) definido como a relação entre  $N_i / N_T$ . Para um consumidor representa o número de VTCDs com valor além do limiar, em um dado período.

$x$ : limiar da tensão eficaz da VTCD, com os possíveis valores: 140, 120, 110, 90, 80, 70, 50, e 10%

$N_i$ : número de consumidores afetados por desvios momentâneos de tensão com magnitude maiores que  $X\%$  para  $X > 100$  ou abaixo de  $X\%$  para  $X < 100$ , devido a um evento medido  $i$ .

$N_T$ : número de consumidores supridos pela seção do sistema a ser avaliado



# SARFix

