



O PORTAL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA



BEM-VINDO AO WEBINAR

**“Influência das harmônicas na compensação reativa
(correção do fator de potência) nas instalações elétricas de
baixa tensão”**

por: José Starosta

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

Webinar Leonardo Energy Brasil (em Português) | Connect Pro Meeting

Reunião Apresentar Layouts Pods Ajuda

Lista de participantes (1) Meu status: Ativo
Hilton Moreno

webminar-compreat JS.pptx

Influência das harmônicas na compensação reativa (correção do fator de potência) nas instalações elétricas de baixa tensão"

JOSE STAROSTA
AÇÃO ENGENHARIA E INSTALAÇÕES LTDA
jstarosta@acaoenge.com.br

Leonardo ENERGY em português

ação engenharia e instalações

www.acaoenge.com.br

Para: Todos

Compartilhar Parar compartilhamento Tela cheia Sincronizar

Conversar Compartilhando Discussão Colaboração

Skype™ - h... 2 Internet... Caixa de En... Webinar do... Webinars webminar... PT 08:46

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

PALESTRANTE: Eng. José Starosta

- Especialista em Qualidade de Energia
- Presidente da ABESCO - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
- Diretor da Ação Engenharia.



MEDIADOR: Eng. Hilton Moreno
Consultor do Leonardo Energy Brasil



“Influência das harmônicas na compensação reativa (correção do fator de potência) nas instalações elétricas de baixa tensão”

JOSE STAROSTA

AÇÃO ENGENHARIA E INSTALAÇÕES LTDA

jstarosta@acaoenge.com.br

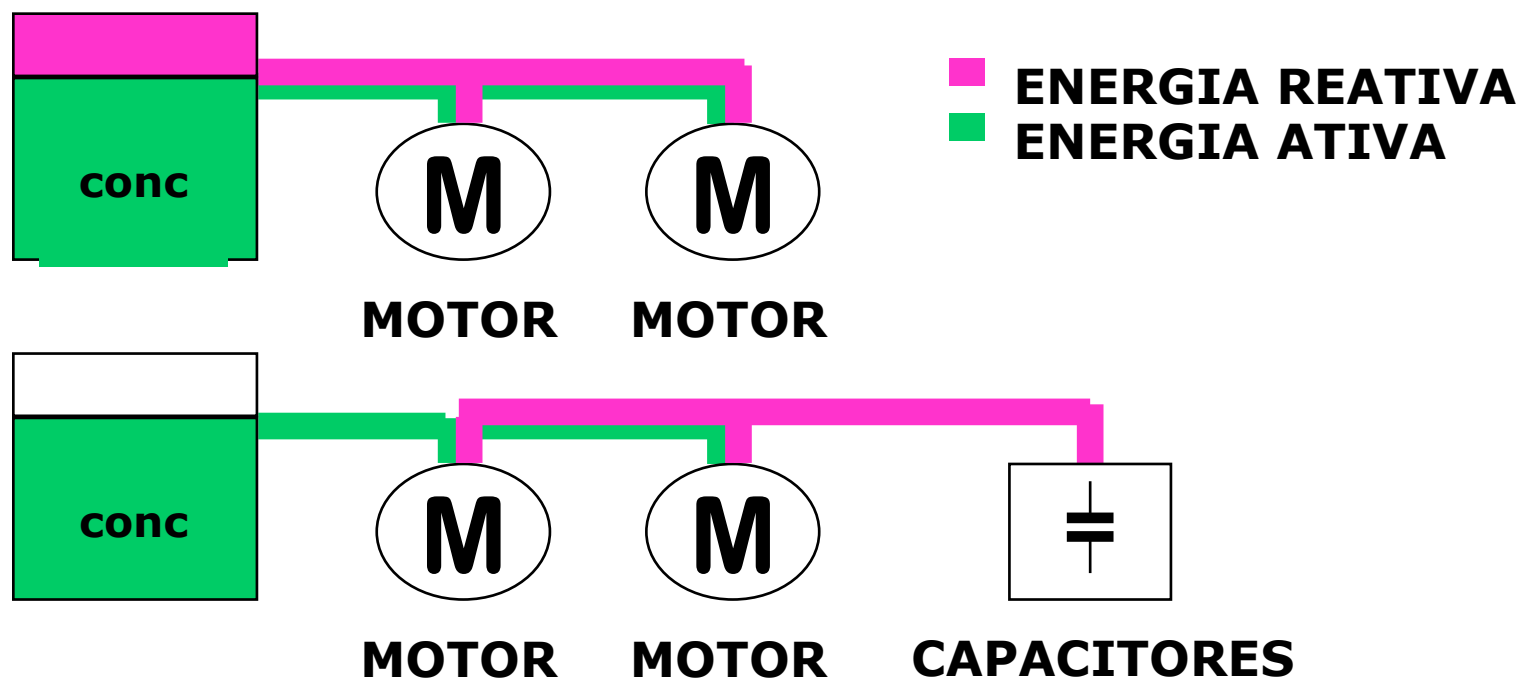
Leonardo
ENERGY  em português



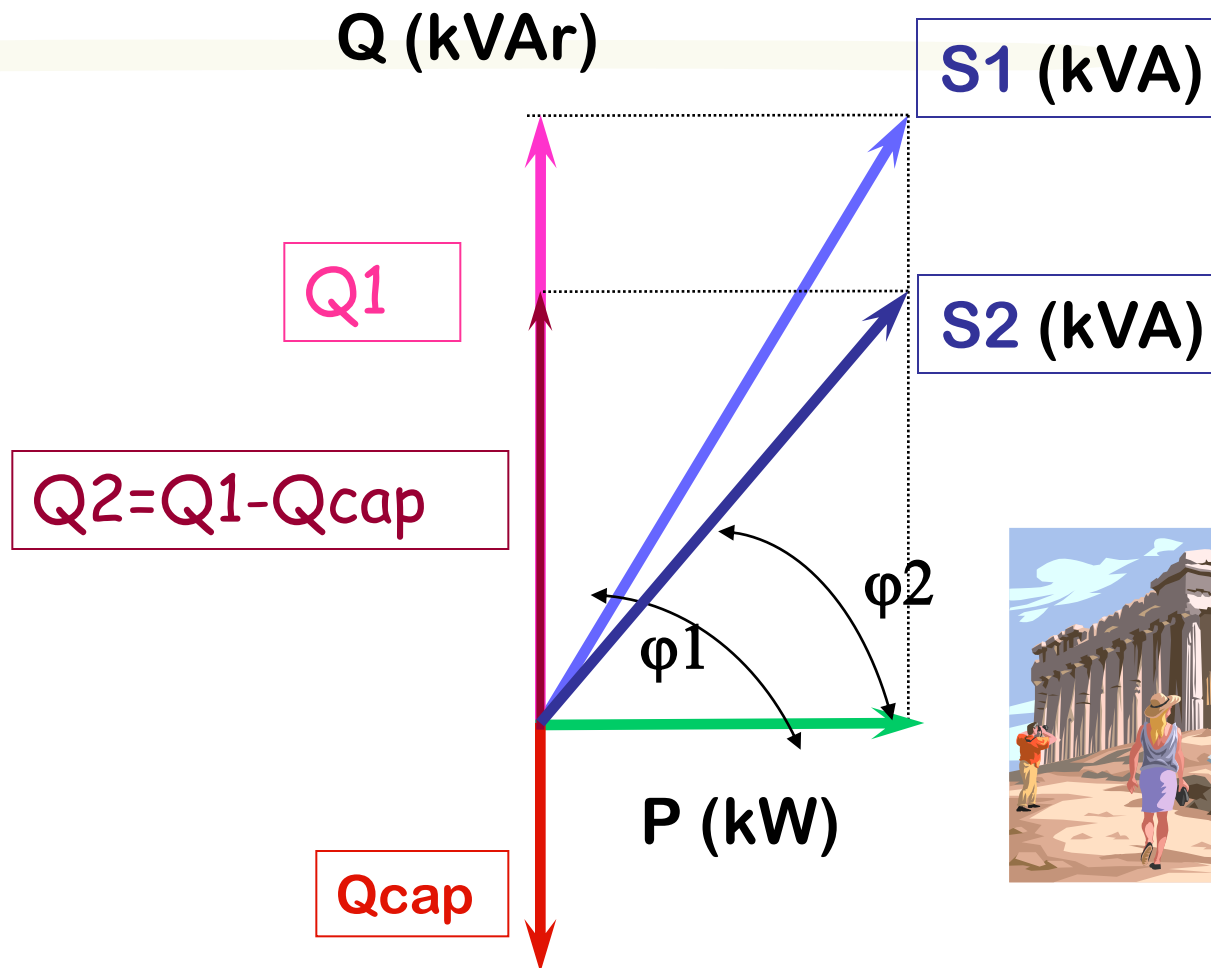
www.acaoenge.com.br

Por que compensar os reativos ???

- Regulação de tensão/Qualidade de energia
- Tarifação de reativos
- Uso racional de energia
- Melhora da eficiência dos processos



A injeção de reativos e o FP



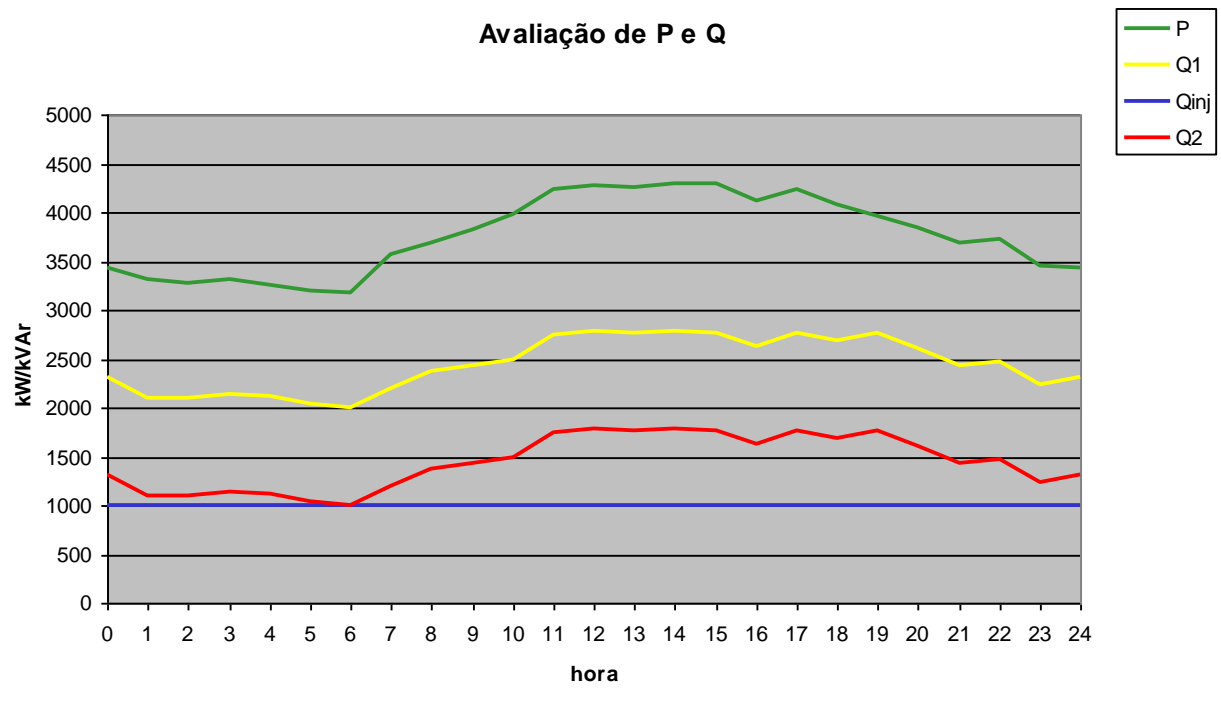
Como compensar os reativos

- Instalar capacitores
(via de regra)

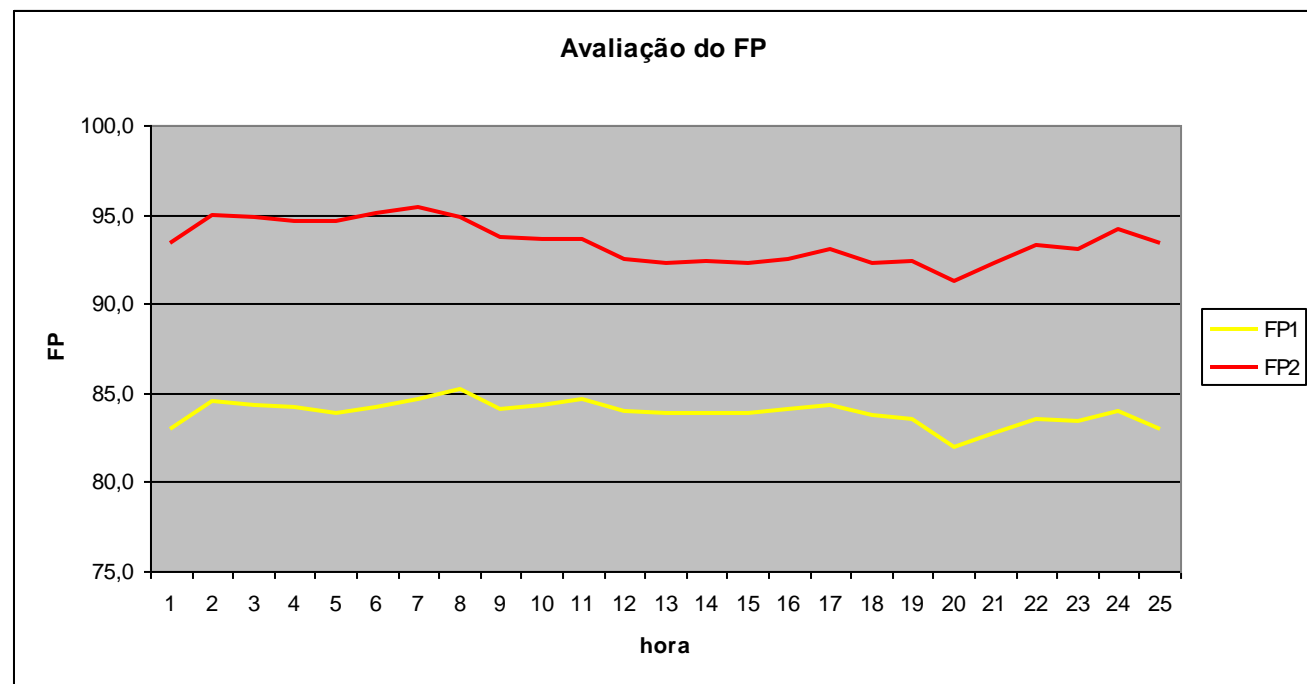
• MAS COMO INSTALAR???



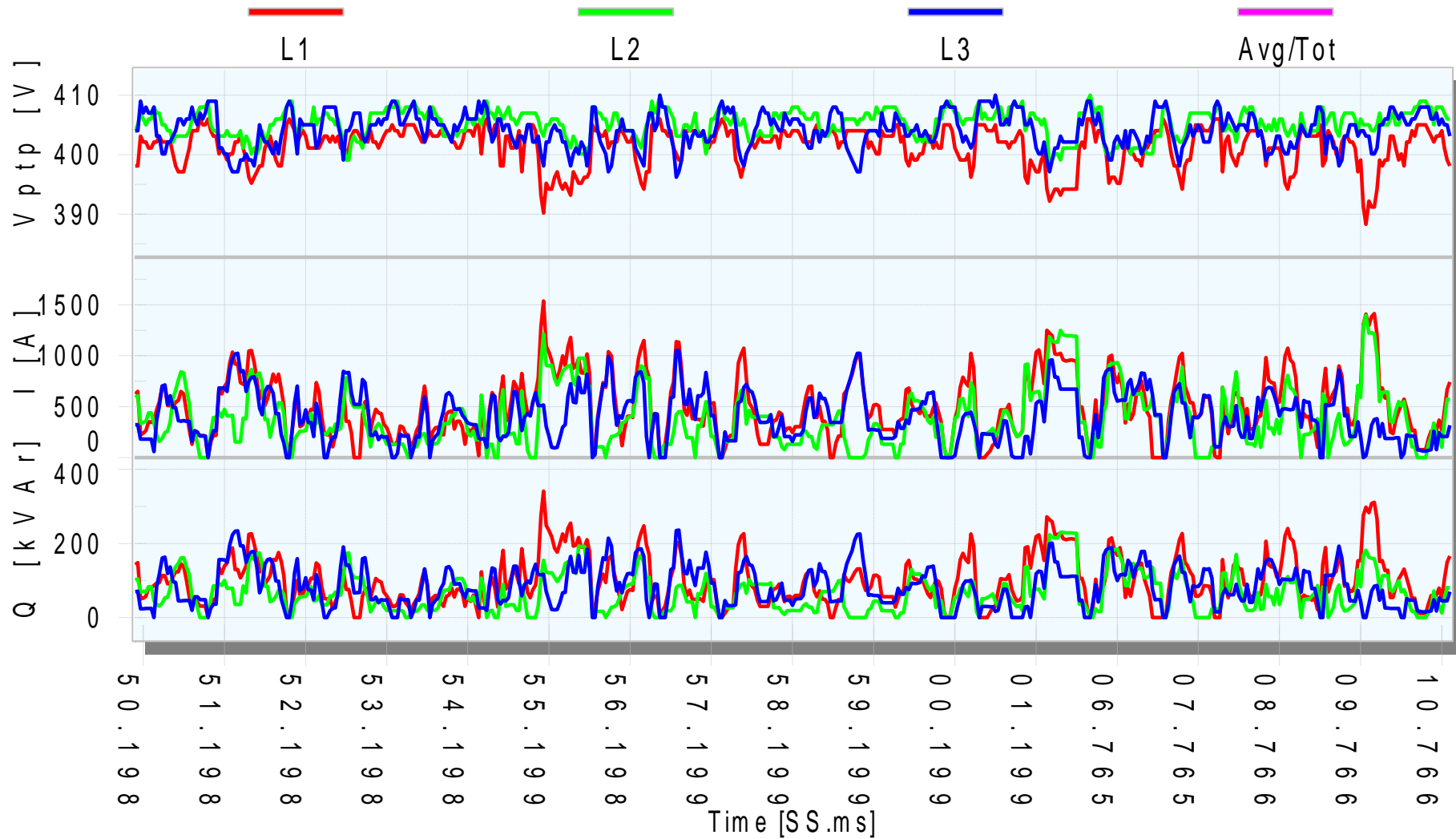
Avaliação de P e Q



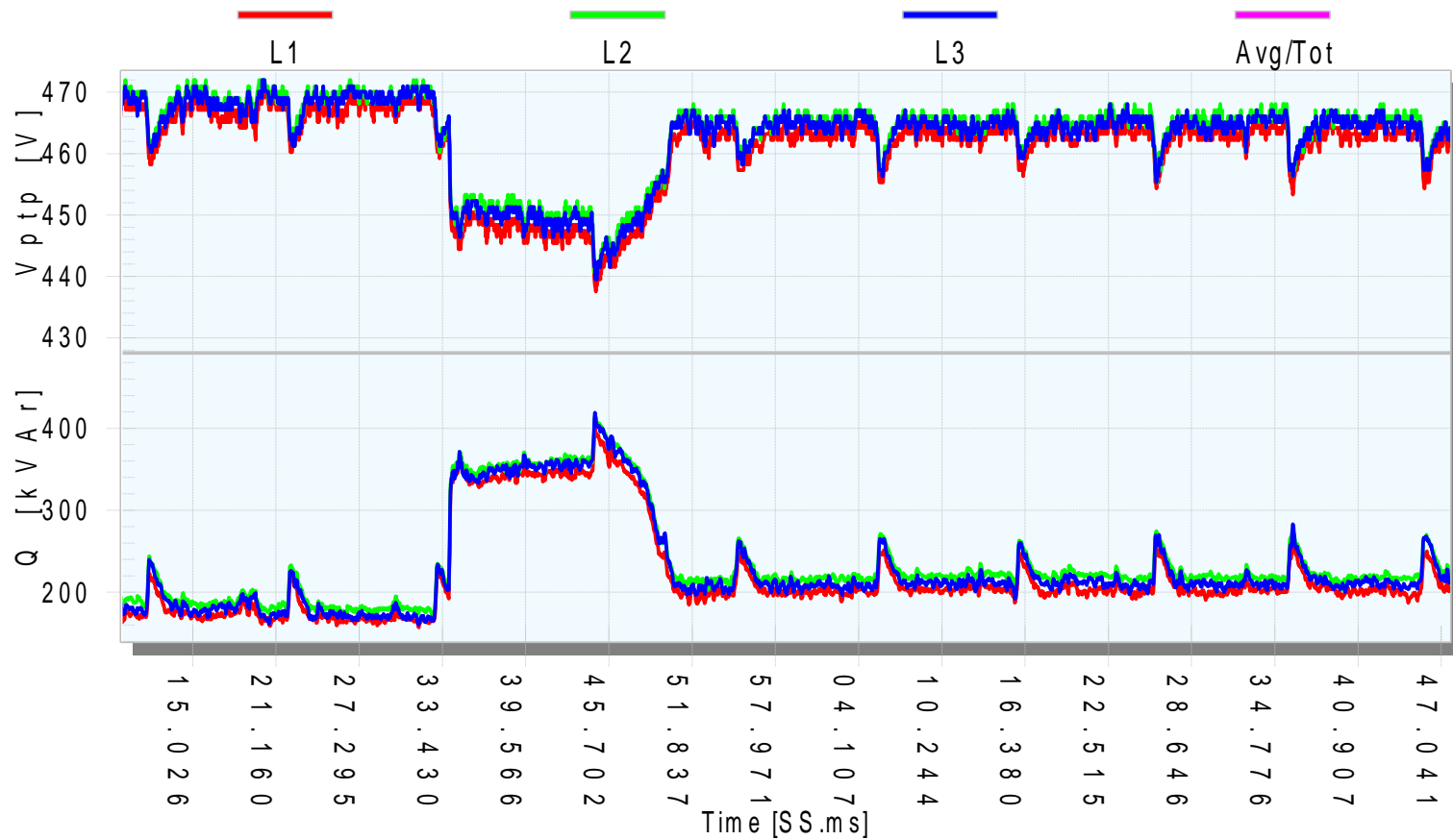
Avaliação do FP



SOLDA A PONTO

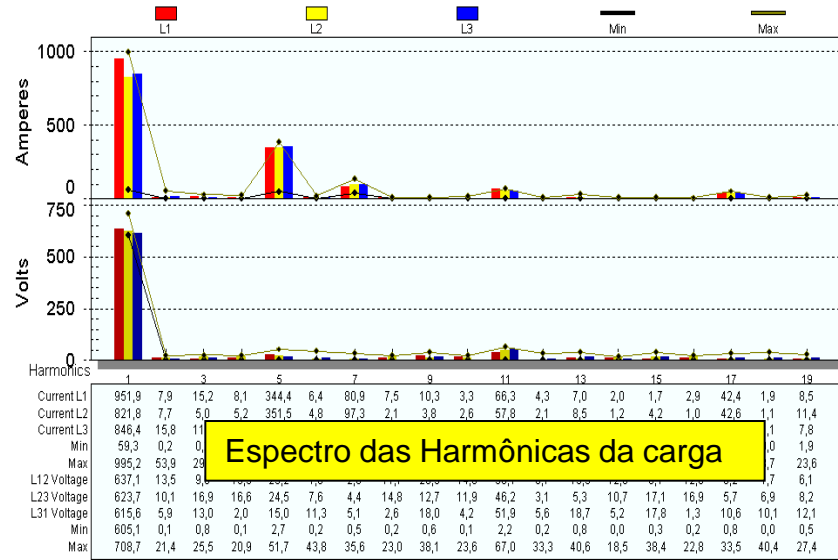
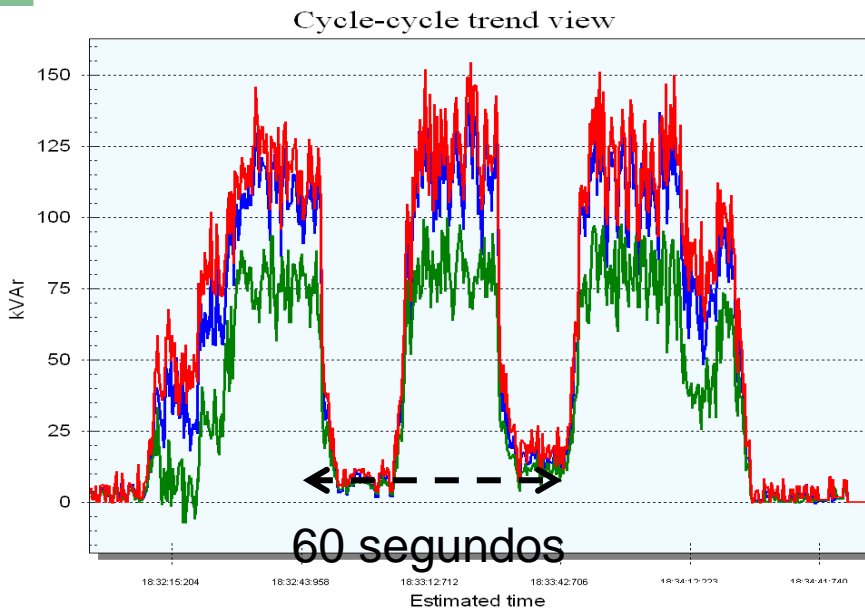


Estamparia - Prensas

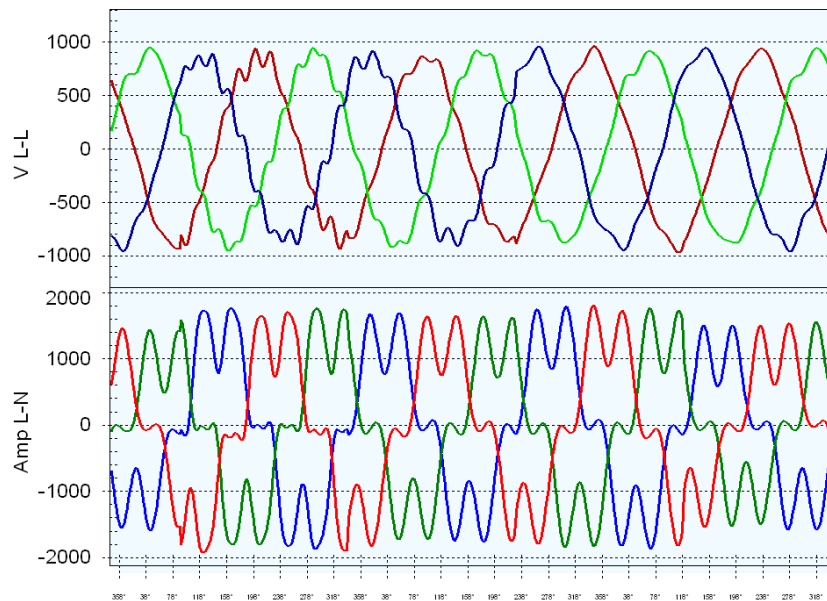


Perfil de carga “nervoso” – energia reativa

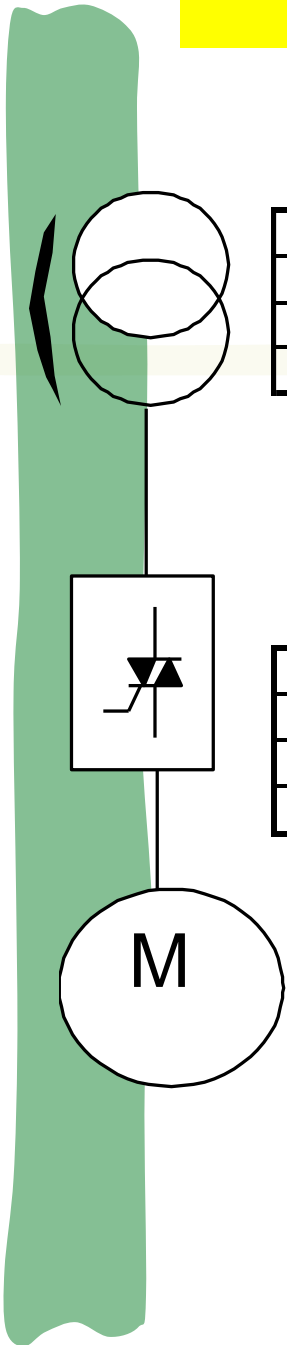
Ação engenharia e Instalações Ltda



Waveform Graph
213 Cycle(s)



Como é o casamento das fontes e das cargas

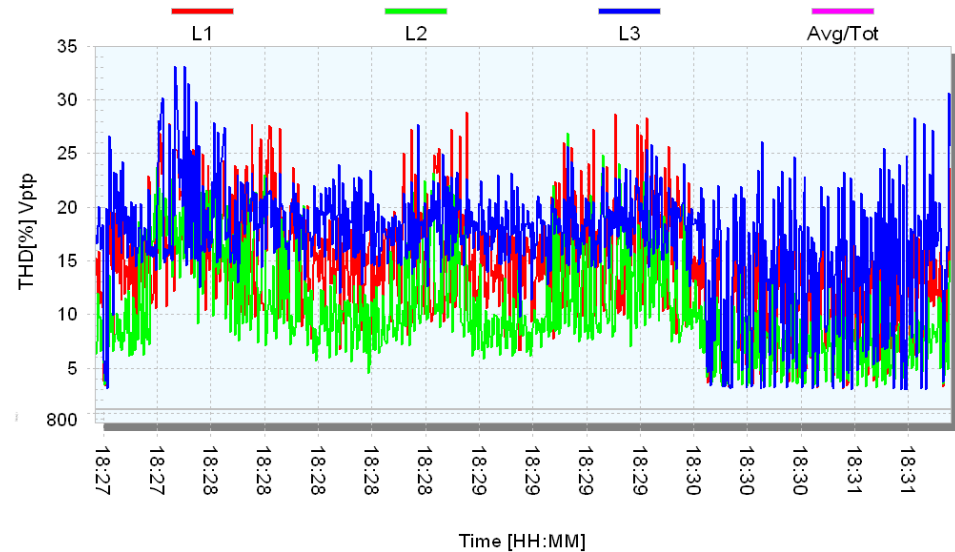


13,2	kV
690	V
1500	kVA
5	%

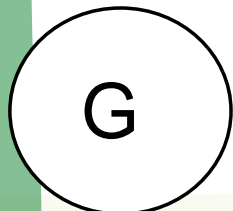
690	V
1200	kVA
1005	Arms
6	pulsos

Ztrafo	0,01587	ohm		
	%	A	Ztrafo	V
rms		1005		
I1	100%	926	0,015870	25,41863
I5	39%	361	0,079350	49,56633
I7	14%	130	0,111090	24,91026
I11	8%	74	0,174570	22,3684
I13	3%	28	0,206310	9,913267
I17	5%	47	1,348950	110,1898
I19	3%	23	2,110710	84,51695

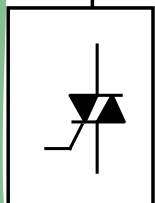
Irms/I	1,085818		
THD		42%	22,0%



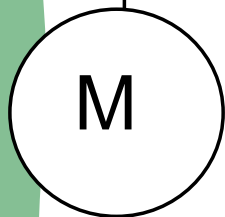
MUDANÇA DE FONTE



690	V
1500	kVA
15	%



690	V
1200	kVA
1005	Arms
6	pulsos



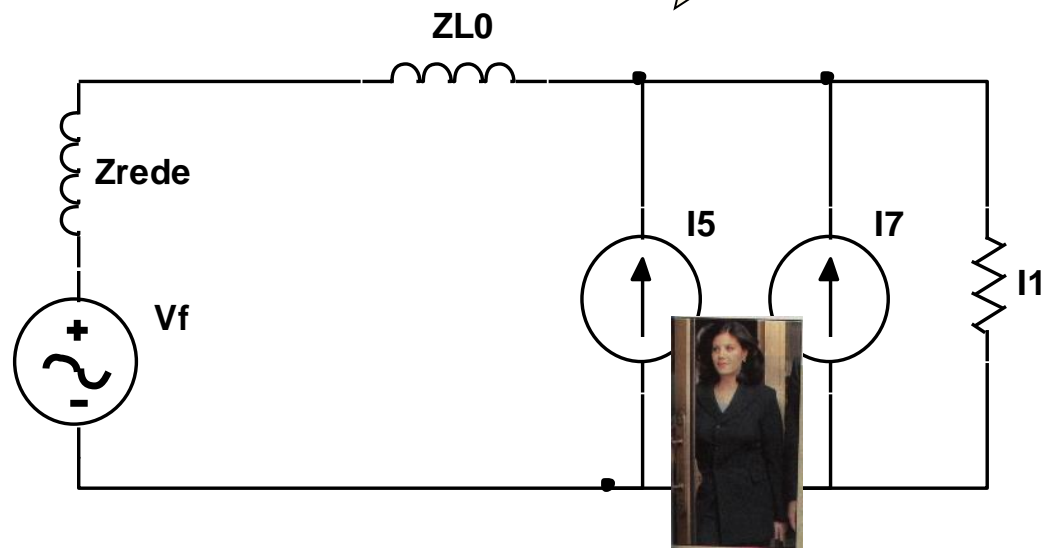
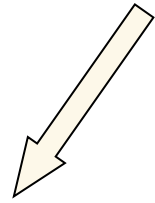
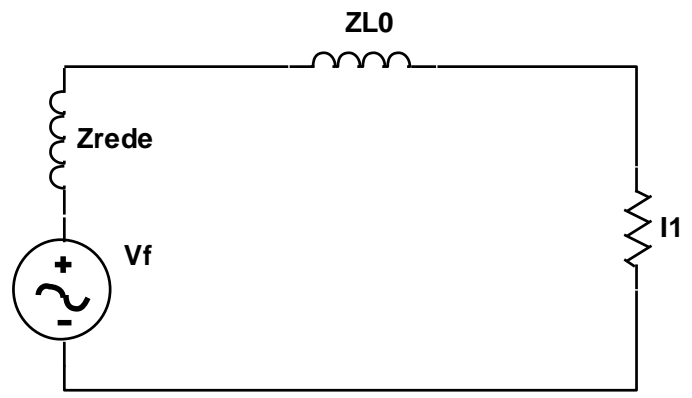
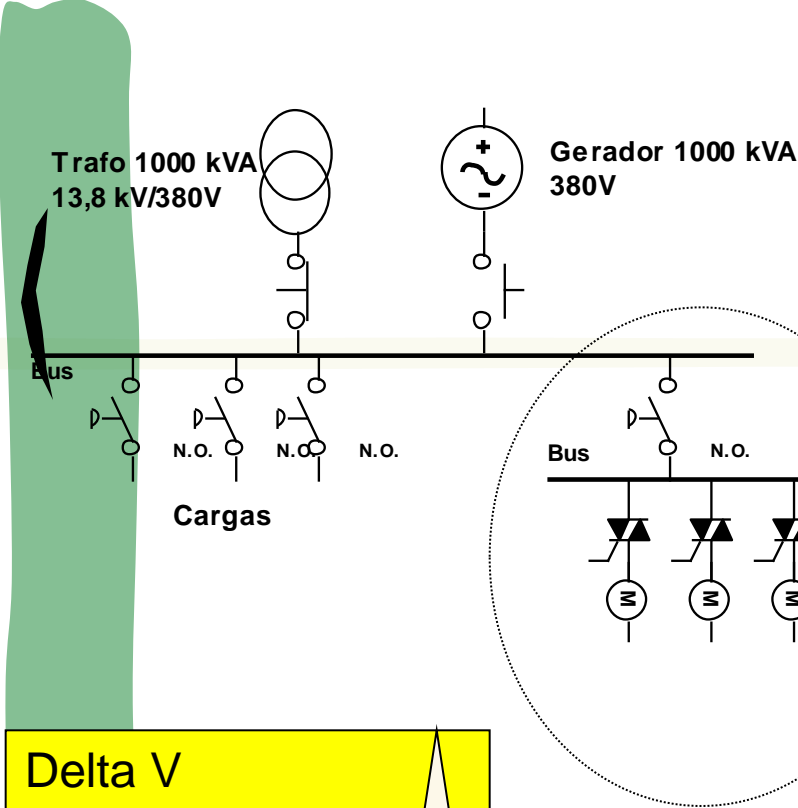
Ztrafo	0,04761	ohm	Ztrafo	V
	%	A		
rms		1005		
I1	100%	926	0,047610	76,2559
I5	39%	361	0,238050	148,699
I7	14%	130	0,333270	74,73078
I11	8%	74	0,523710	67,10519
I13	3%	28	0,618930	29,7398
I17	5%	47	4,046850	330,5693
I19	3%	23	6,332130	253,5509

Irms/I	1,085818			
THD		42%		65,9%

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!



Inserção de cargas não lineares-fonte: trafo



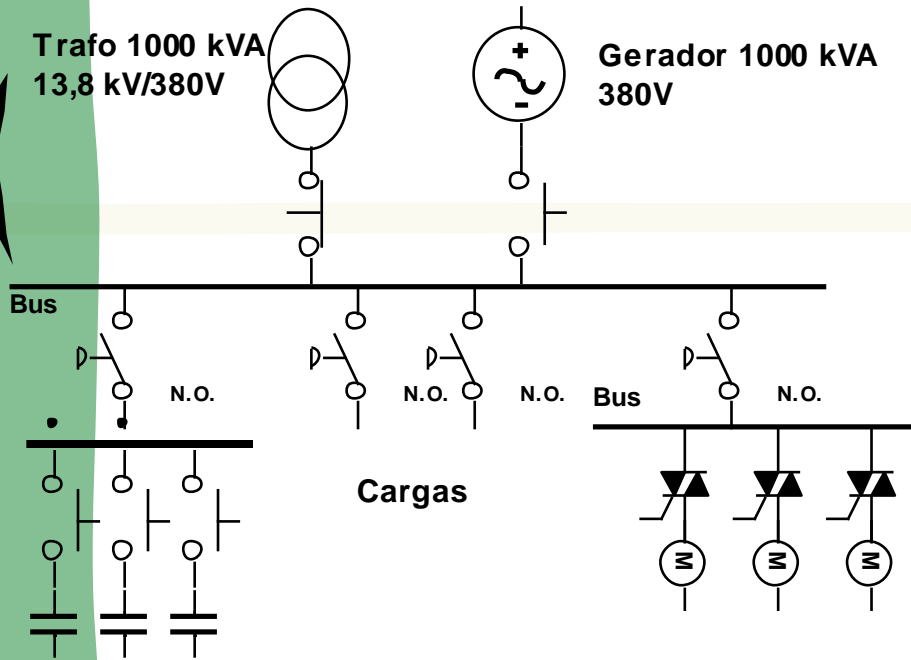
- Delta V
- THDV
- THDI
- I
- Perdas
- Calor
- Energia Reativa**



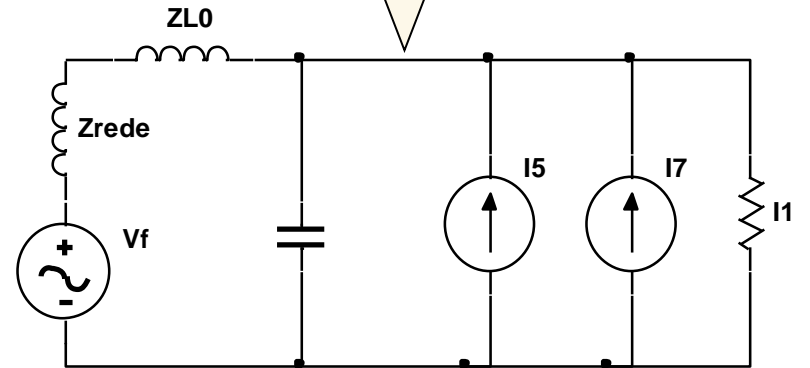
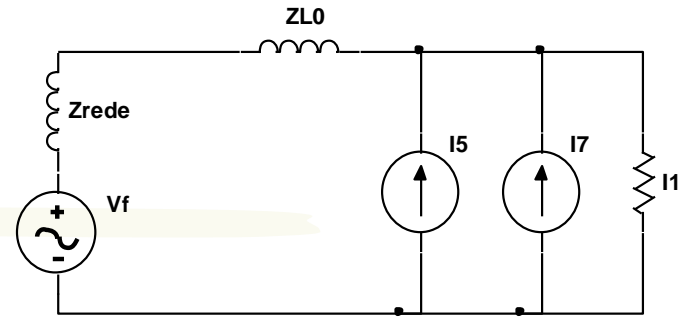
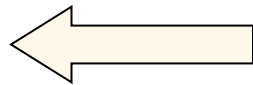
Inserção de capacitores

Trafo 1000 kVA
13,8 kV/380V

Gerador 1000 kVA
380V

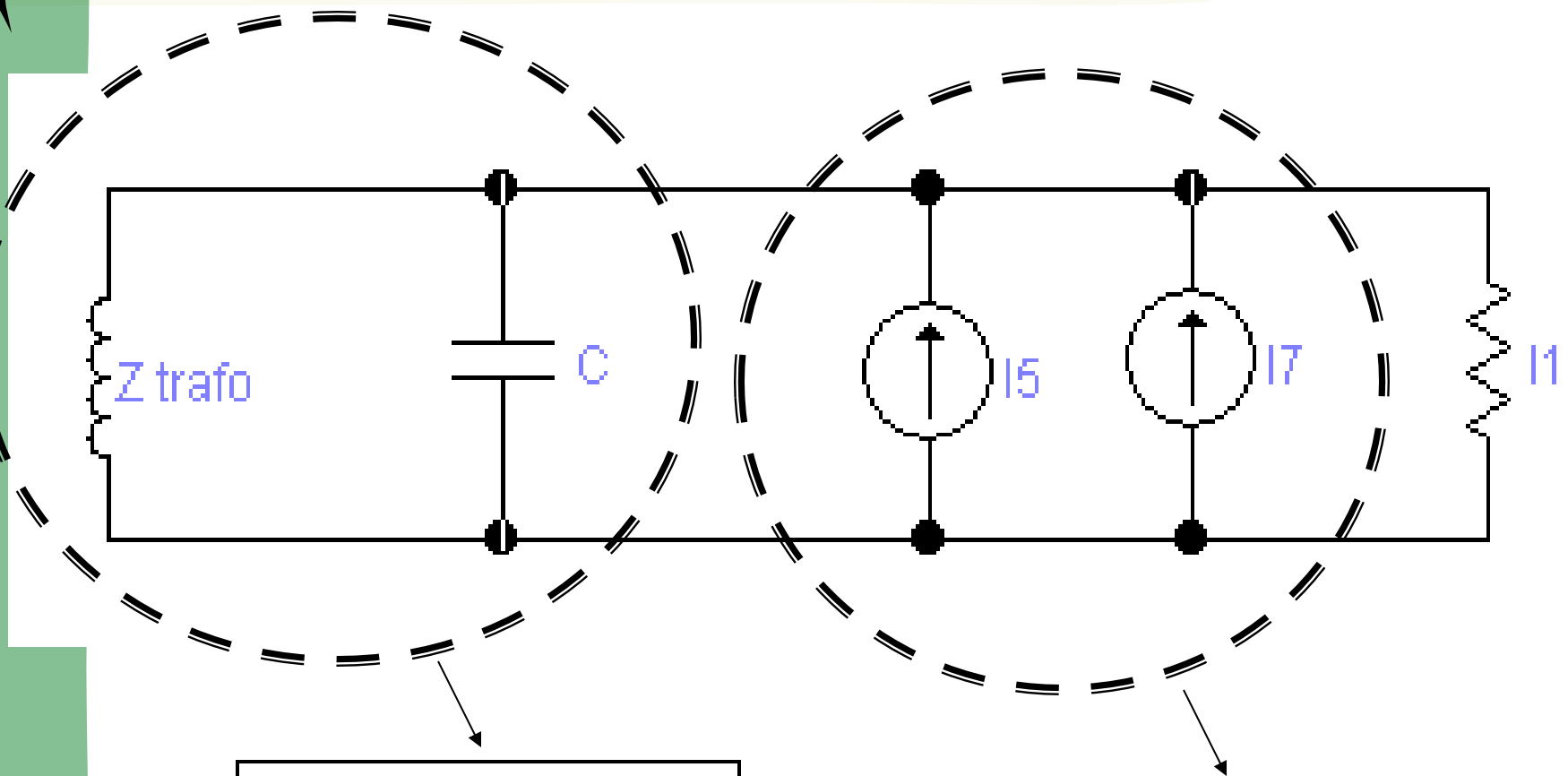


Cargas





A inserção de capacitores na rede e as harmônicas



$$f_{\text{ressonância}} = f(L, C)$$

Harmônicas presentes

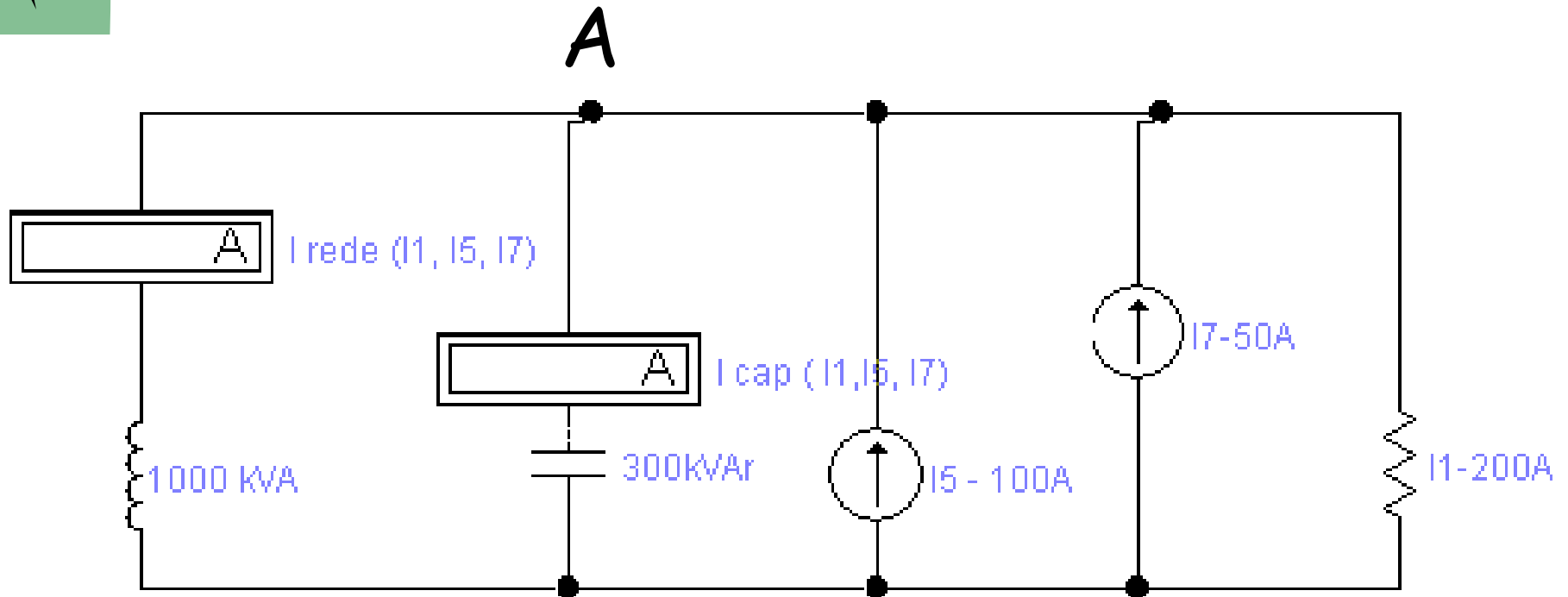
Combinação fatal

- # A combinação $L(\text{rêde}) / C(\text{ kVAr})$ em um sistema elétrico define uma frequência de ressonância.
- # A presença de cargas nesta rede, com espectro de corrente (harmônica) nesta (ou próxima) a esta frequência causará penetração de corrente no capacitor com queima posterior; ressonância.

$$hr = \sqrt{kVA_{cc} / kVA_{r \text{ cap}}}$$

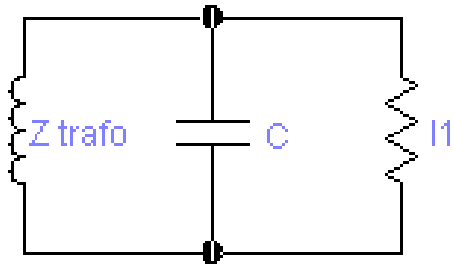
Inserção de capacitores em circuito típico

Divisor de corrente

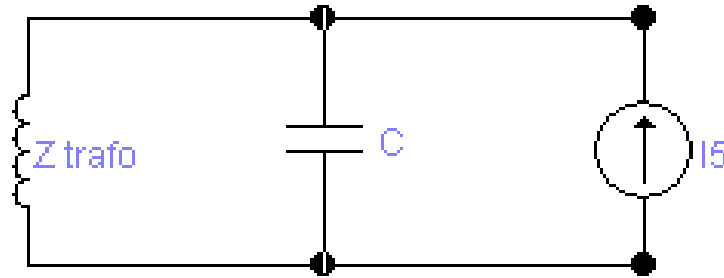


$$I_{\text{cap}} = (Z_L / (Z_c + Z_L)) * I_t$$

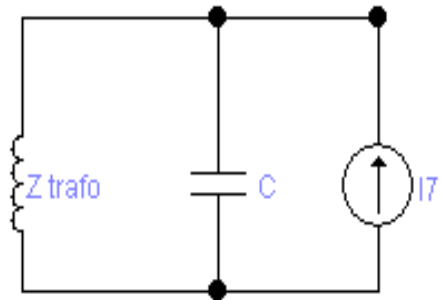
A superposição de efeitos



60 Hz



300 Hz



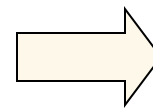
420 Hz

$$Z_L = j\omega L$$

$$Z_C = 1/j\omega C$$

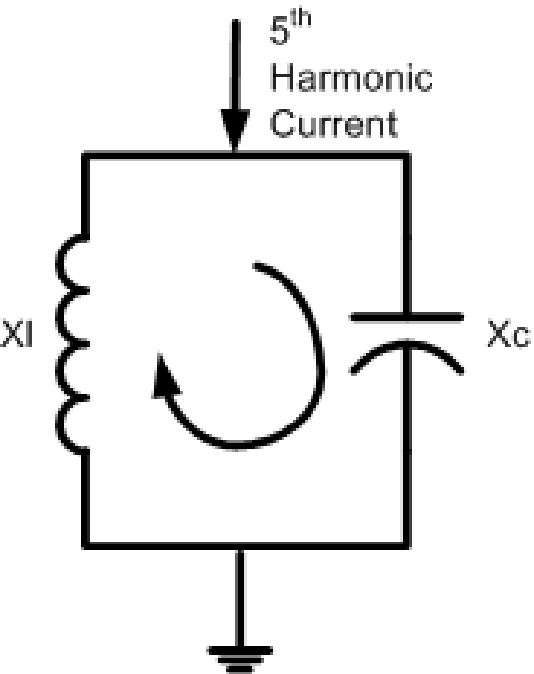
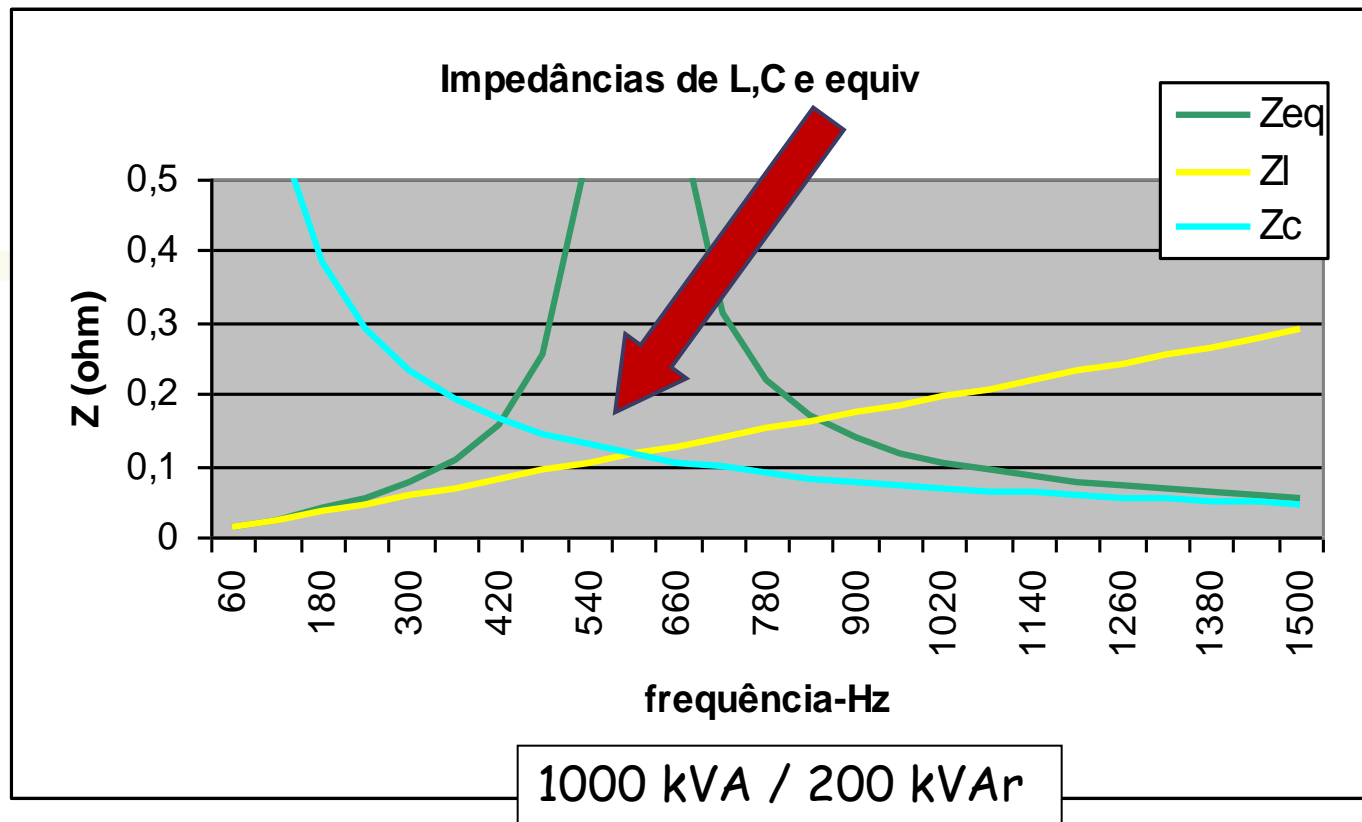
U_{rms}

I_{rms}

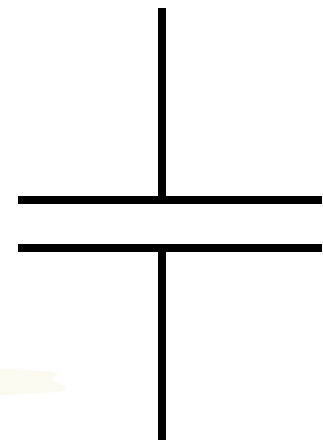


Médias
quadráticas

Comportamento da impedância com a frequência

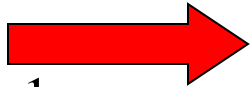


Os capacitores



$$I_{\text{cap}} = I_{1\text{cap}} + I_{\text{hcap}}$$

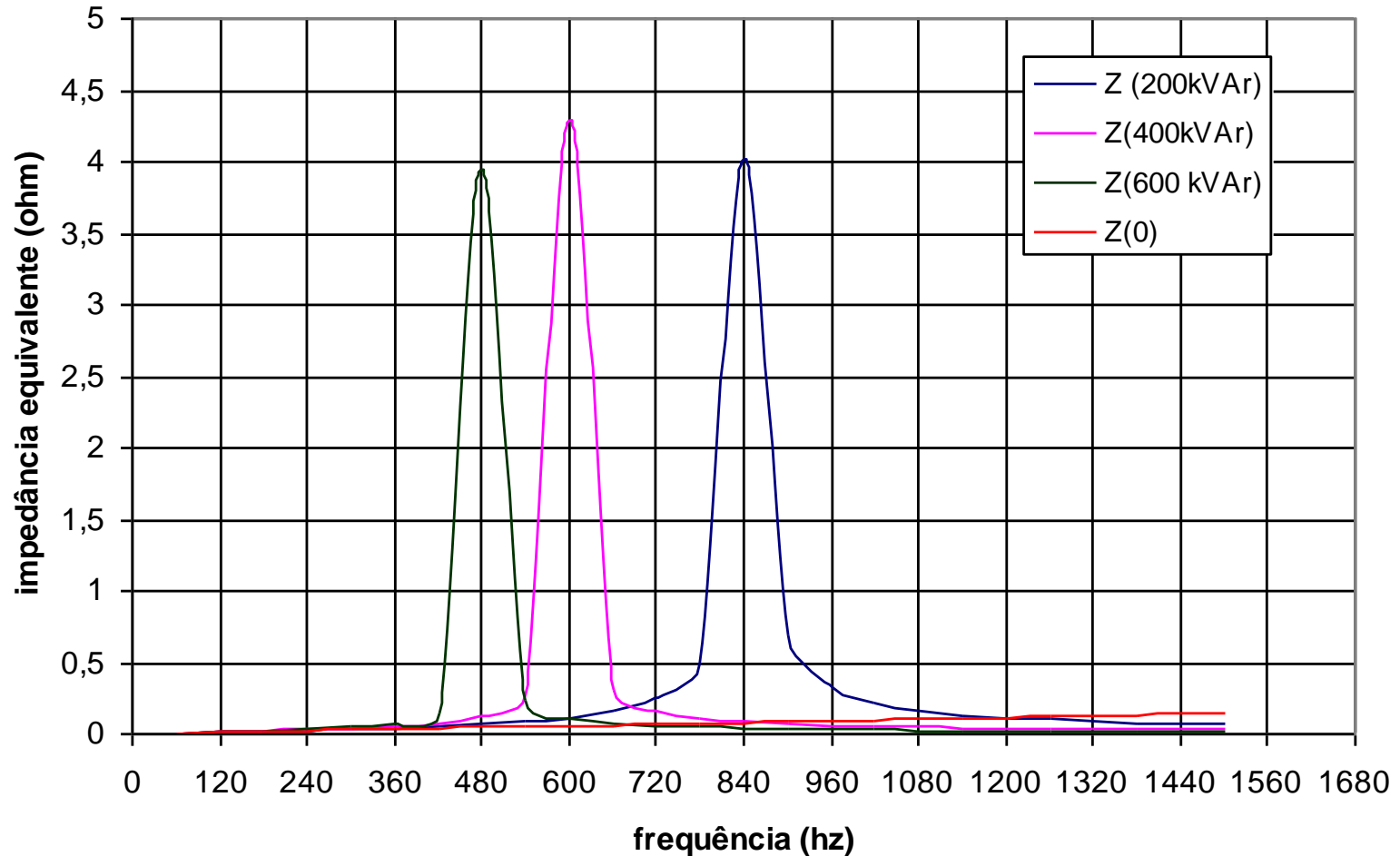
$$U_{\text{cap}} = U_{1\text{cap}} + U_{\text{hcap}}$$

Se $I_{\text{cap h}} \gg \gg I_{\text{cap1}}$  $U_{\text{cap h}} \gg \gg U_{\text{cap1}}$



Impedância do sistema e injeção de reativo "automática"

frequência de ressonância X Potência do capacitor - Trafo 2000 kVA



Aspecto prático da ressonância:

Trafo de 1000 kVA/5%

- Banco de 50 kVAr: Hr=20
- Banco de 100 kVAr: Hr=14
- Banco de 200 kVAr: Hr=10

Banco automático=busca pela ressonância

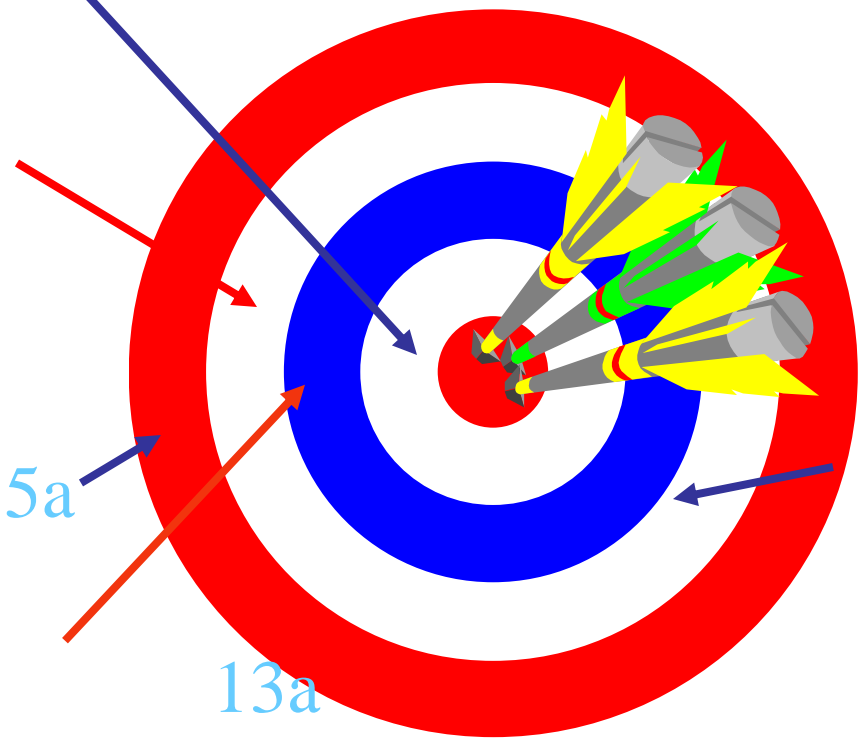
11a

15a

5a

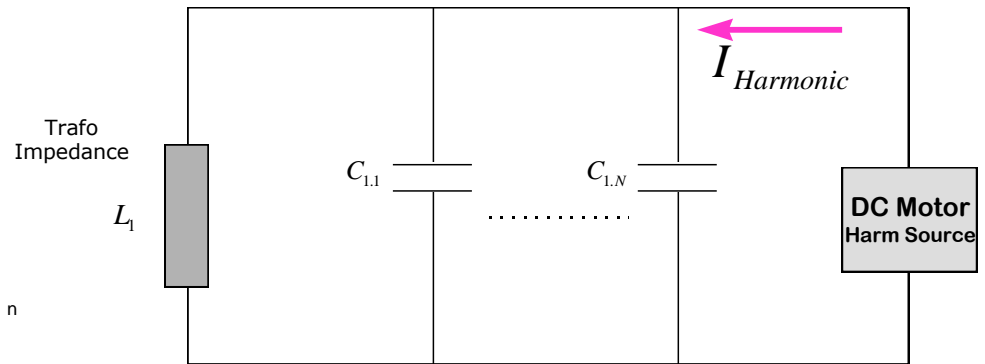
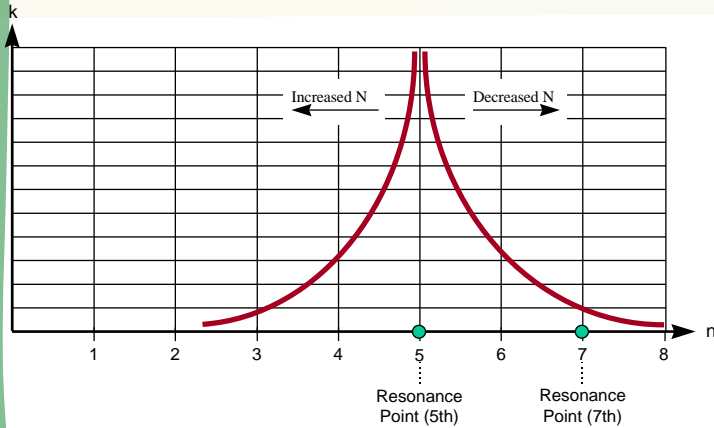
13a

7a

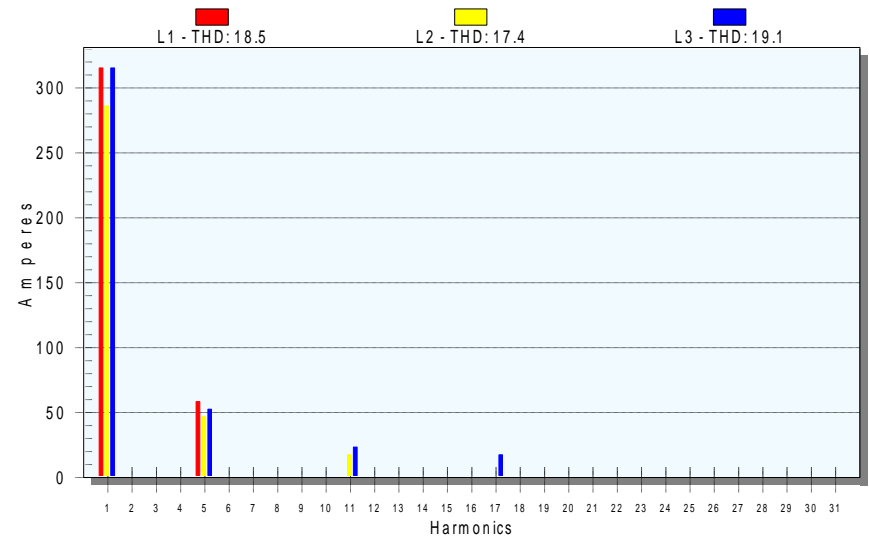


A RESSONÂNCIA

$$L_2 = 0 \quad Z = \frac{j\omega L_1}{1 - \omega^2 C_1 L_1 N}$$

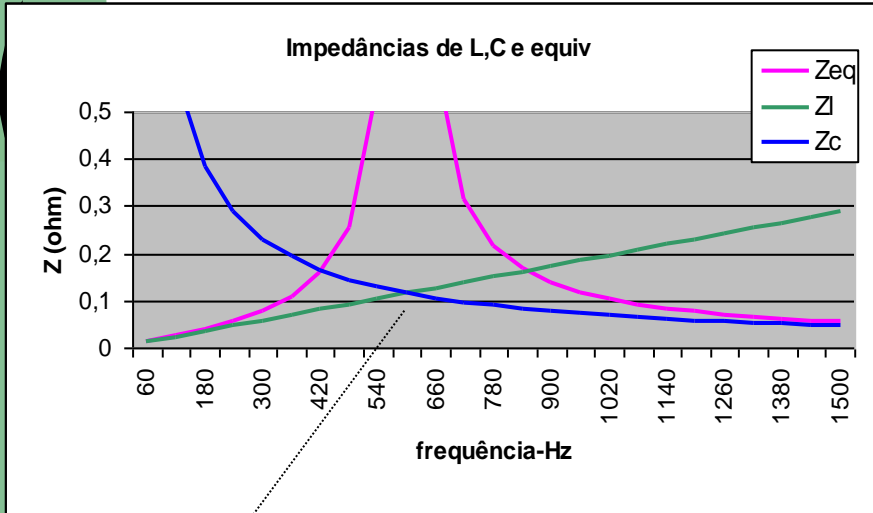


Harmonics Graph
I Mains Load I

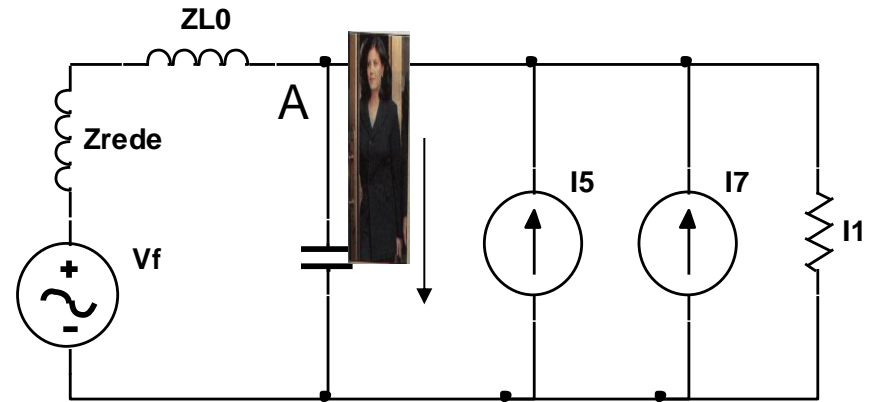
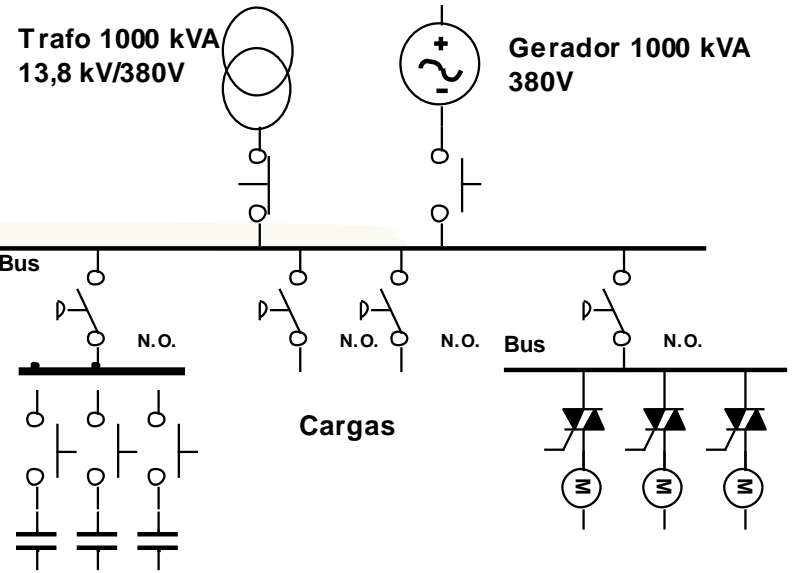
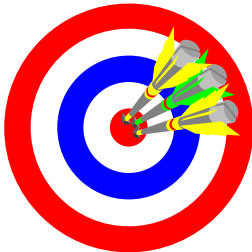


Comportamento da impedância com a frequência

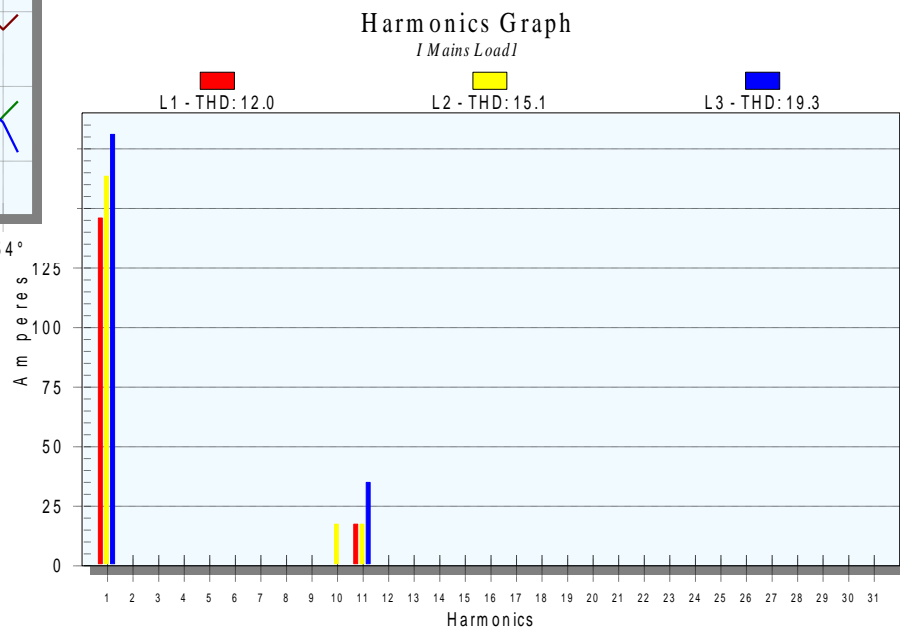
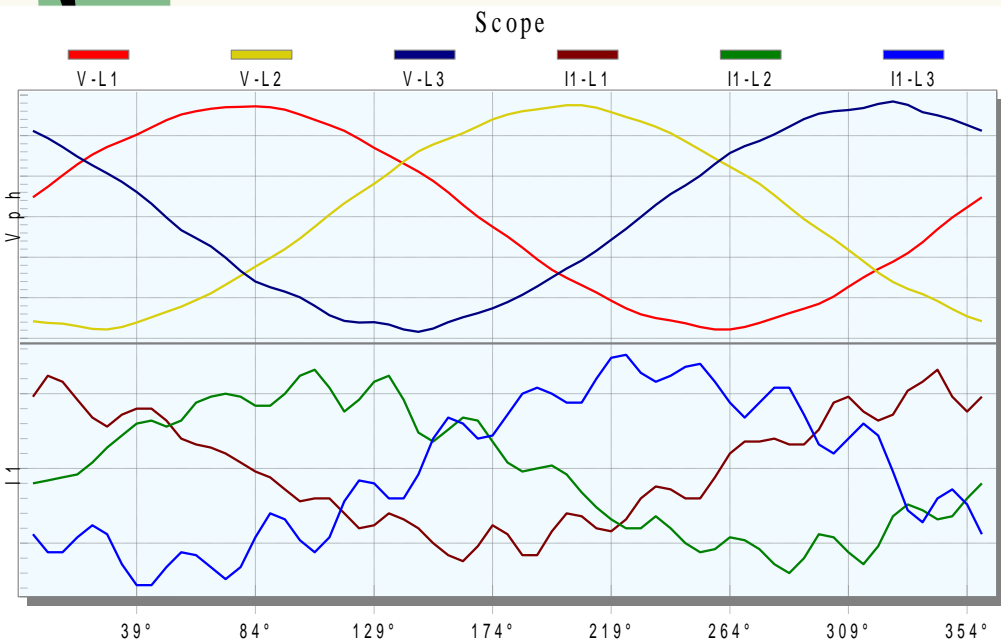
1000 kVA / 200 kVAr



ressonância

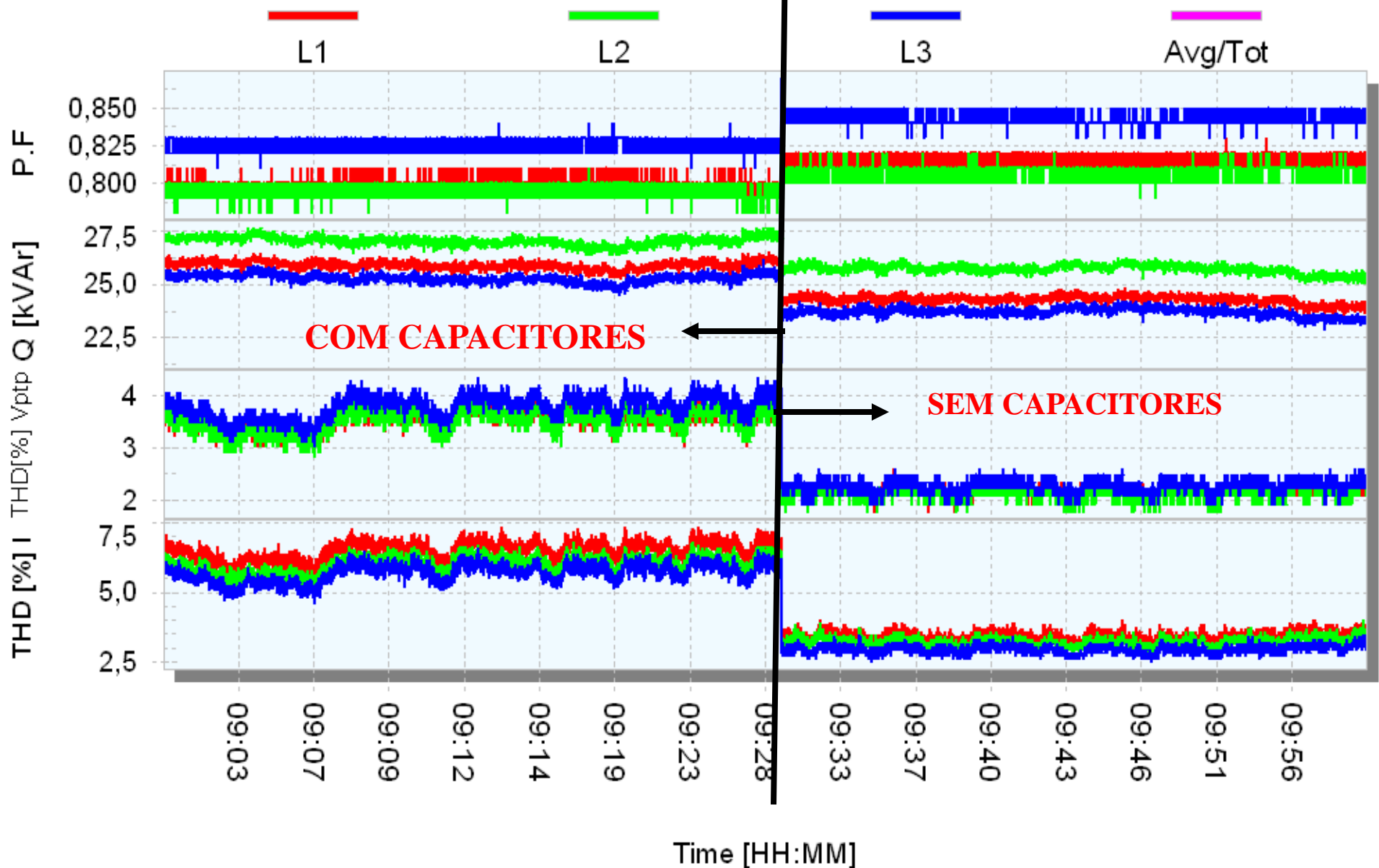


A ressonância e as correntes nos capacitores



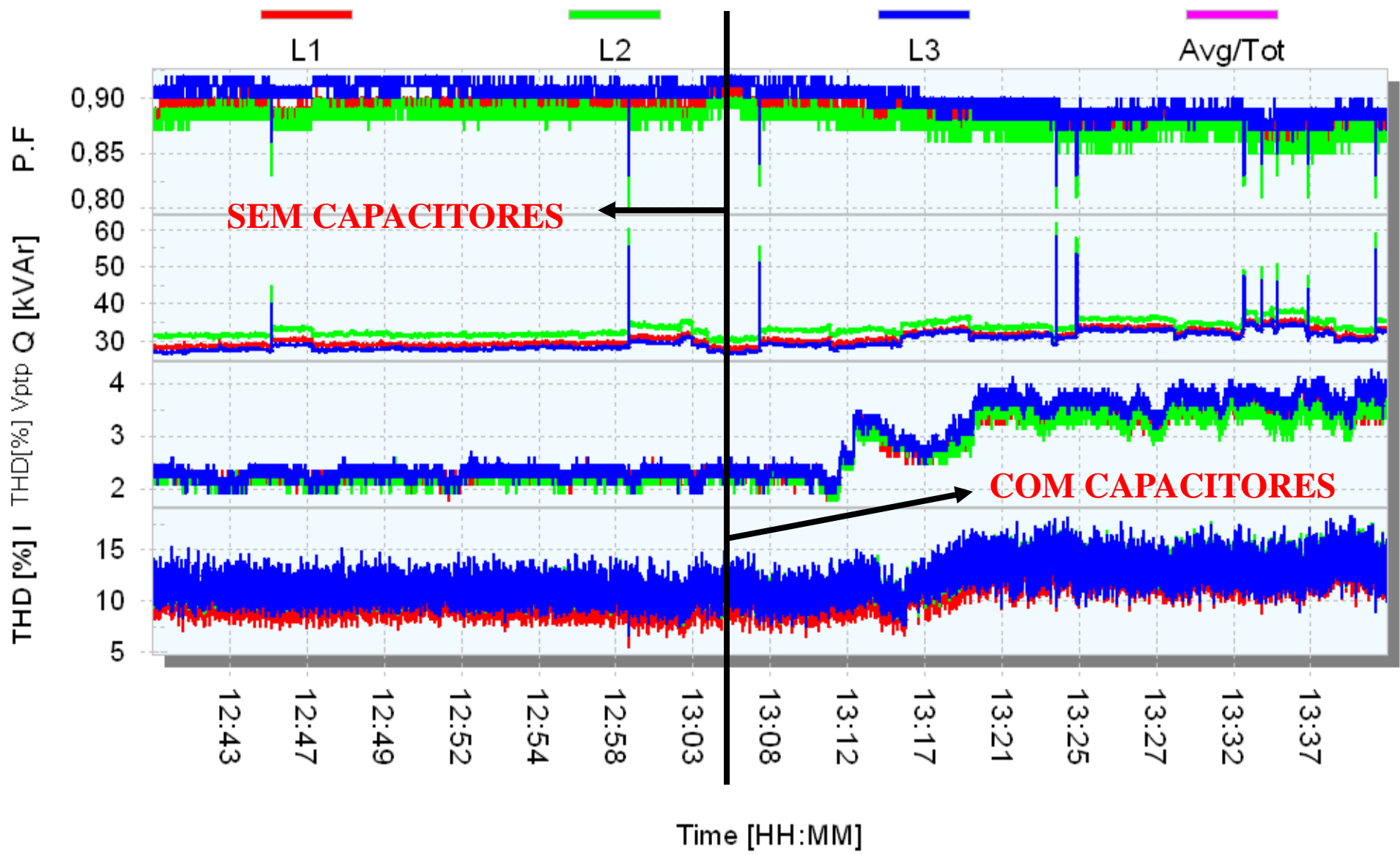
Ressonância

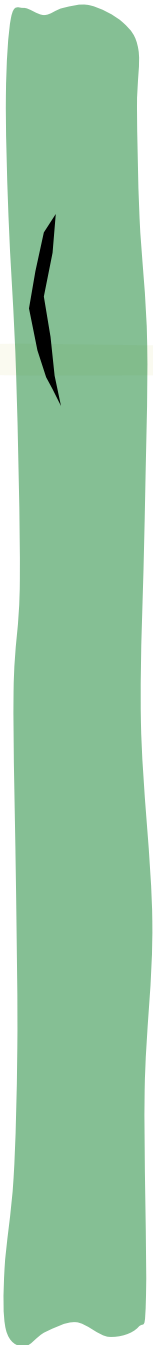
Ação Engenharia e Instalações Ltda



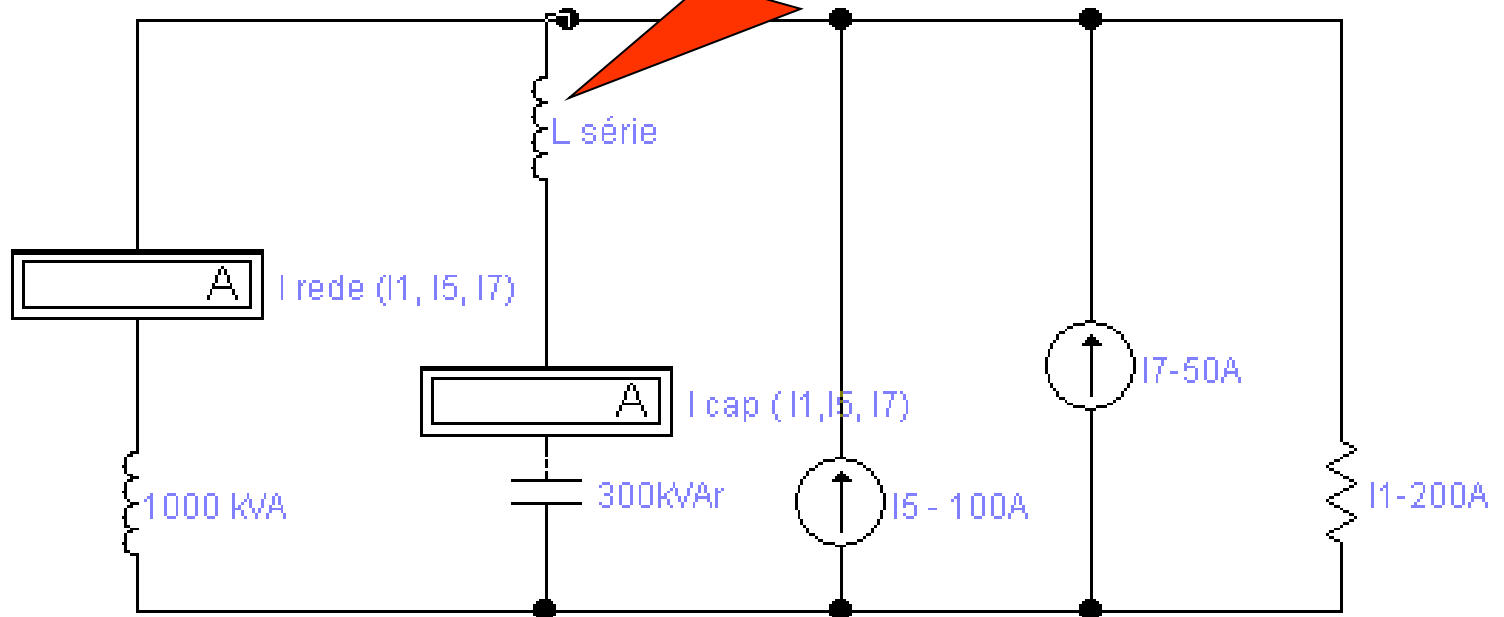
Ressonância

Ação Engenharia e Instalações Ltda





O que fazer na ressonancia paralela???



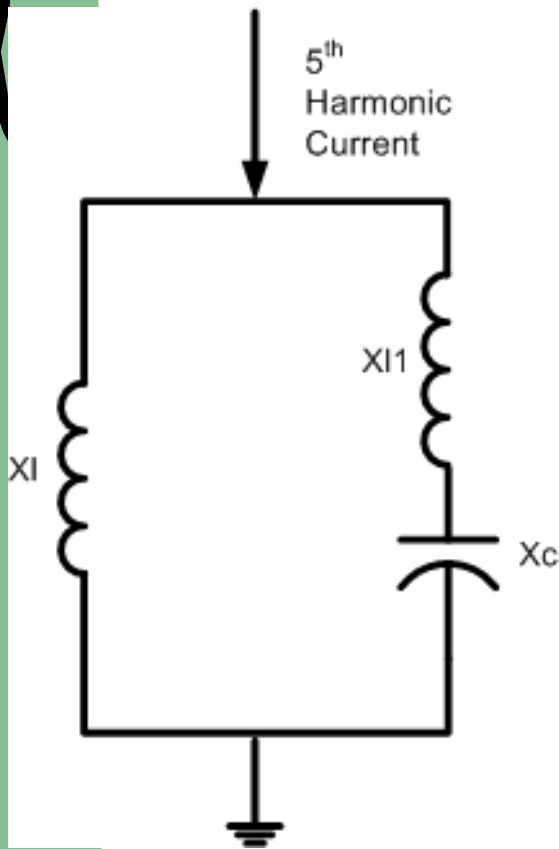
Como calcular a frequência de ressonância paralela?

♥ Para quem ama as fórmulas:

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} ; Z_{L_{TR}} = j\omega L_{TR} ; Z_L = j\omega L$$

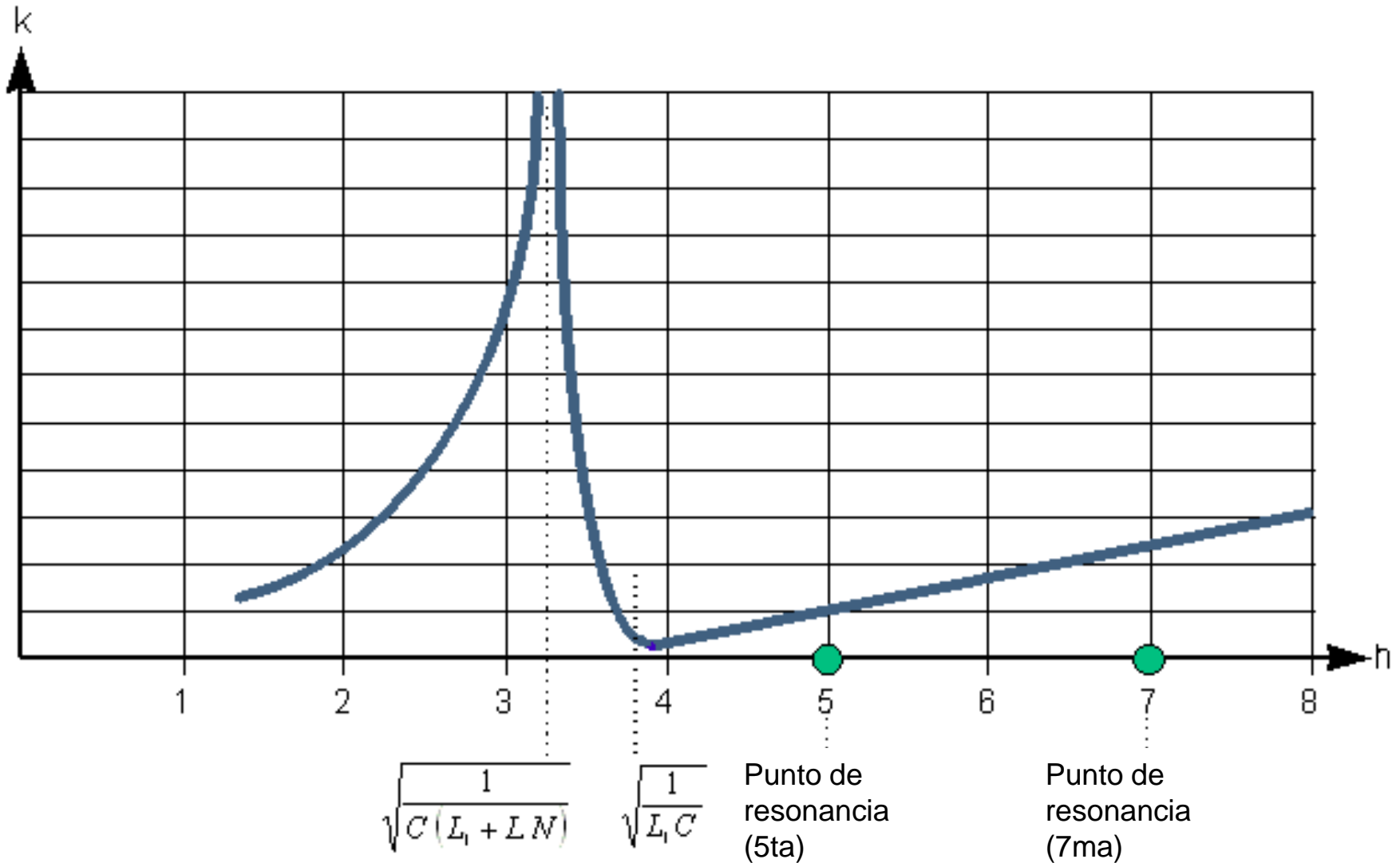
$$Z = \left[\frac{1}{N} (Z_C + Z_L) \right] \parallel Z_{L_{TR}} \Rightarrow Z = \frac{\frac{1}{N} \left(\frac{1}{j\omega C} + j\omega L \right) \cdot j\omega L_{TR}}{\frac{1}{N} \left(\frac{1}{j\omega C} + j\omega L \right) + j\omega L_{TR}}$$

$$Z = \frac{\frac{L_{TR}}{C} - \omega^2 L L_{TR}}{1 - \omega^2 C L - \omega^2 C L_{TR} N} \Rightarrow Z = \frac{L_{TR} (1 - \omega^2 L C) \cdot j\omega}{1 - \omega^2 C L - \omega^2 C L_{TR} N} \cdot j\omega$$



- # Um Reator X_{L1} em série com o capacitor move a frequência de ressonância para valores menores.
- # A nova frequência de ressonância se modifica para: $X_C = X_L + X_{L1}$
- # A nova frequência de ressonância é deslocada para valores menores da menor harmônica dominante.

Solução antirressonante ou "Dessintonizada"

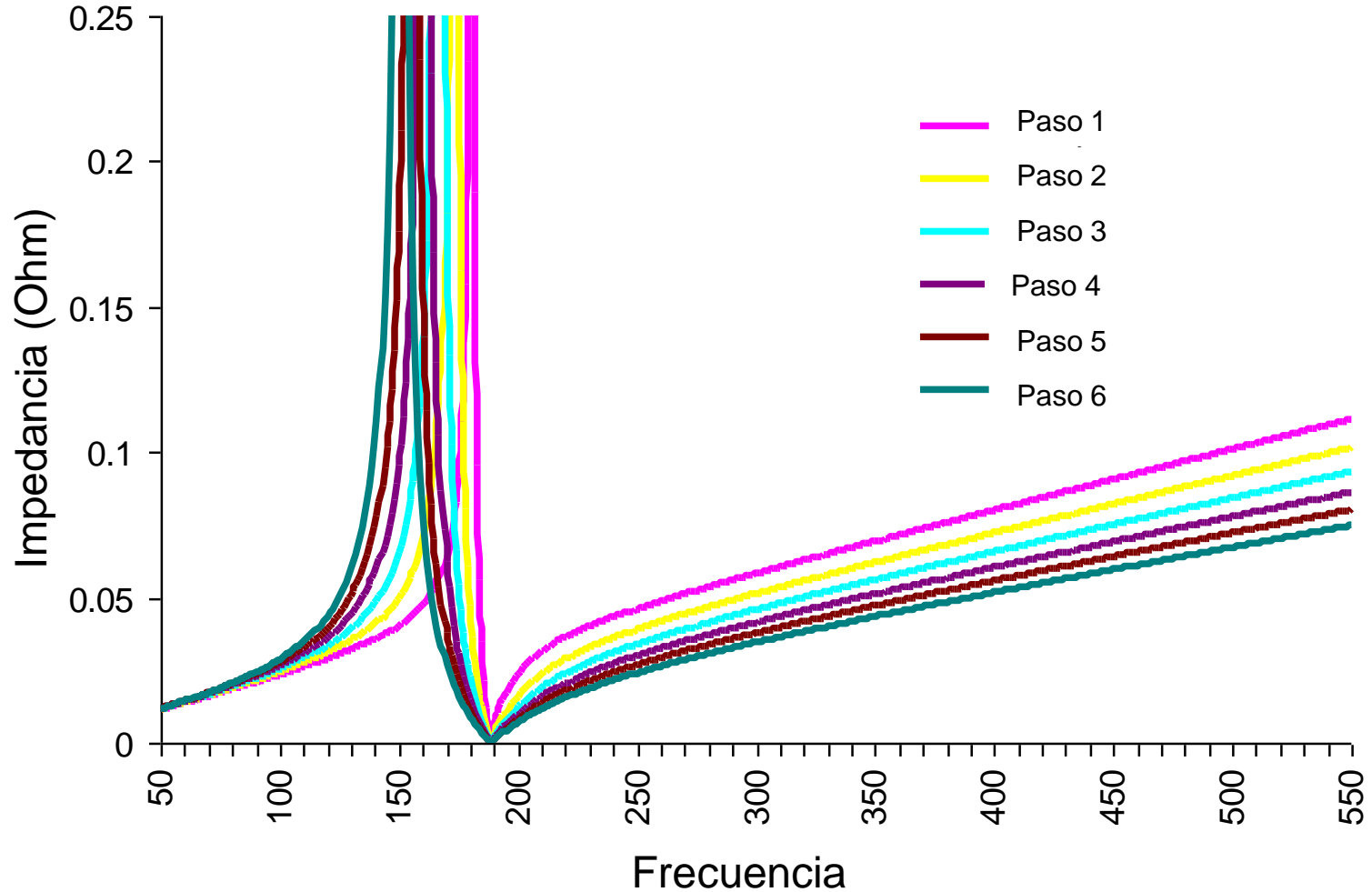


Soluções Dessintonizadas - Definições

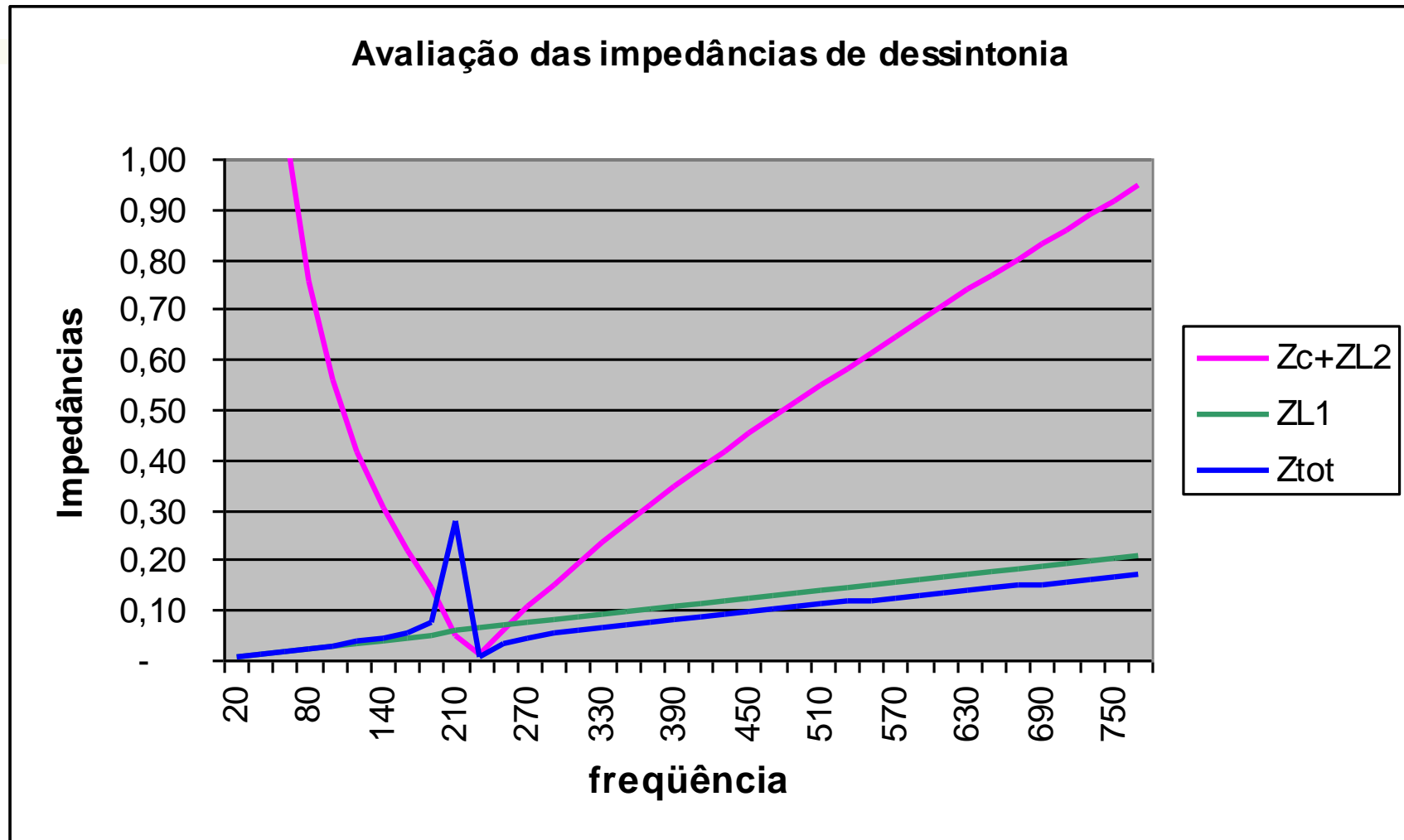
- # A frequência de ressonância se define pelo ponto de ressonância serie.
- # Os reatores conectados em série se definem por valores percentuais, definidos pela relação de sua impedância na frequência fundamental em relação a impedância dos capacitores na mesma frequência.

Reator	60Hz	Harmônica
7%	227Hz	H3.78
6%	245Hz	H4.08
14%	160Hz	H2.67
5.67%	252Hz	H4.2

Solução Dessintonizada de 7%

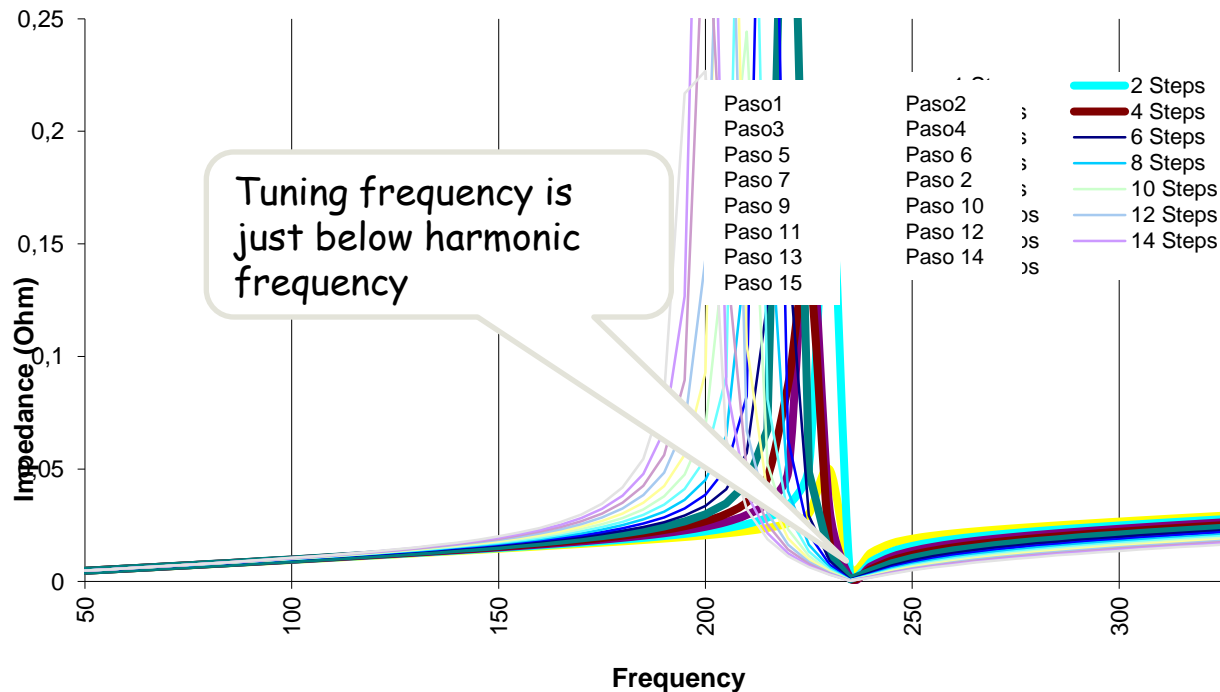


Comportamento com a dessintonia



Soluções Sintonizadas - Filtros

Os filtros passivos são "sintonizados" próximo a frequência harmônica.



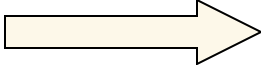
O que fazer com níveis altos de THDV

- # Desconecte TODOS os capacitores:
 - ▣ Se existirem diferenças significativas use solução desintonizada.
 - ▣ Não existem diferenças? Solução sintonizada
- # 2^{as} e 4^{as} harmônicas altas? - conversores de frequência com problemas
- # Rede com baixa Pcc - Solução desintonizada em 14% é preferida ao invés de 7%
- # Compensação desbalanceada? - somente soluções 14%.
- # Tensões harmônicas sem fontes de corrente - concessionária.
- # 5^{as} harmônicas e superiores - 7%
- # 3^{as} harmônicas e superiores - 14%

O incremento de tensão e a compensação reativa

Em sistemas sem ressonância

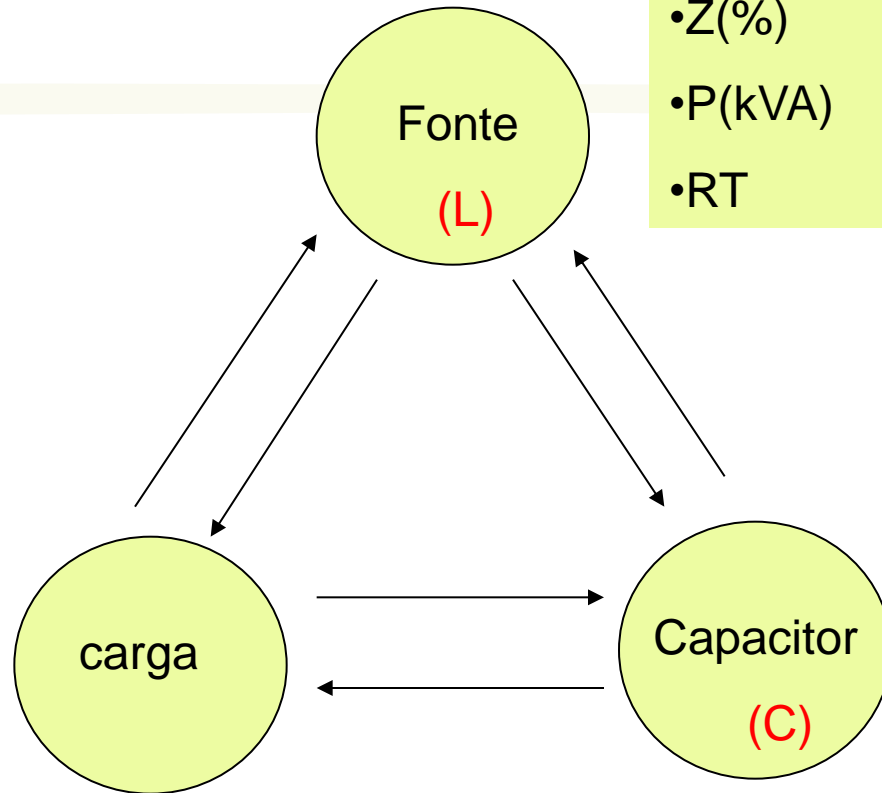
$$\% U = Q_{\text{cap}} \text{ (kVAr)} \cdot Z_{\text{tr}} \text{ (\%)} / P_{\text{tr}} \text{ (kVA)}$$

Elevação abrupta de tensão na presença de capacitores 

RESSONÂNCIA

As correspondências

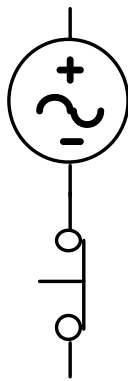
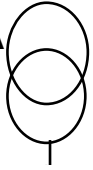
- Regime
- Linearidade



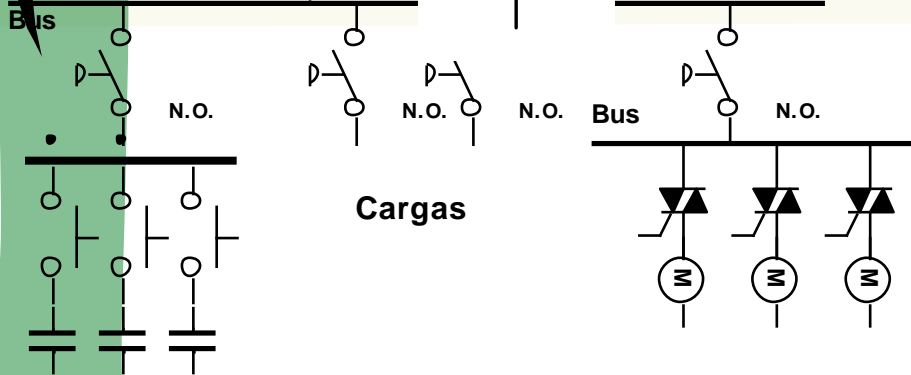
- Z(%)
- P(kVA)
- RT

- Concepção
- Tipo de Manobra
- Z
- Q injetado

Trafo 1000 kVA
13,8 kV/380V



Gerador 1000 kVA
80V



Geradores e Capacitores

Capacitores

Gerador



X

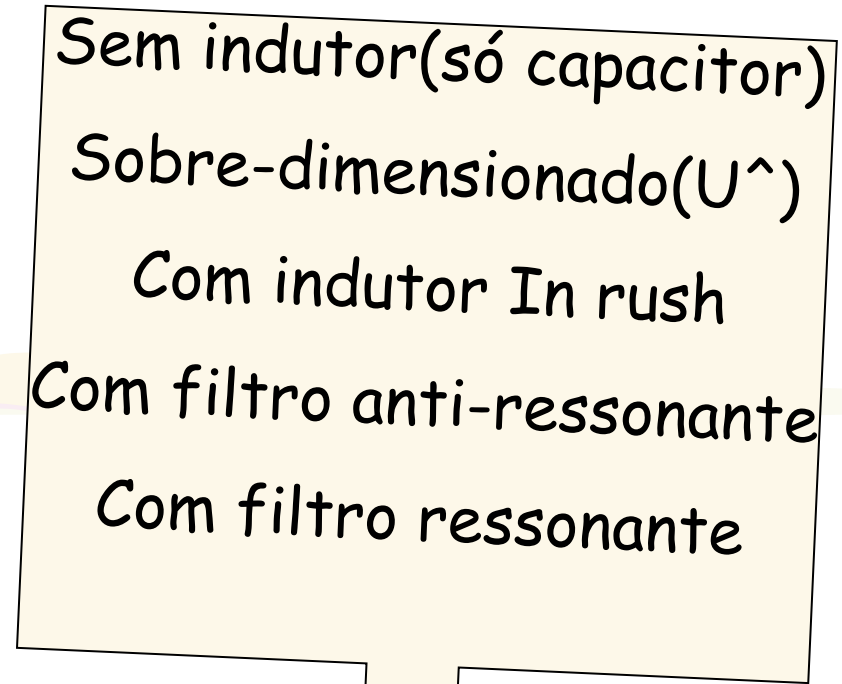
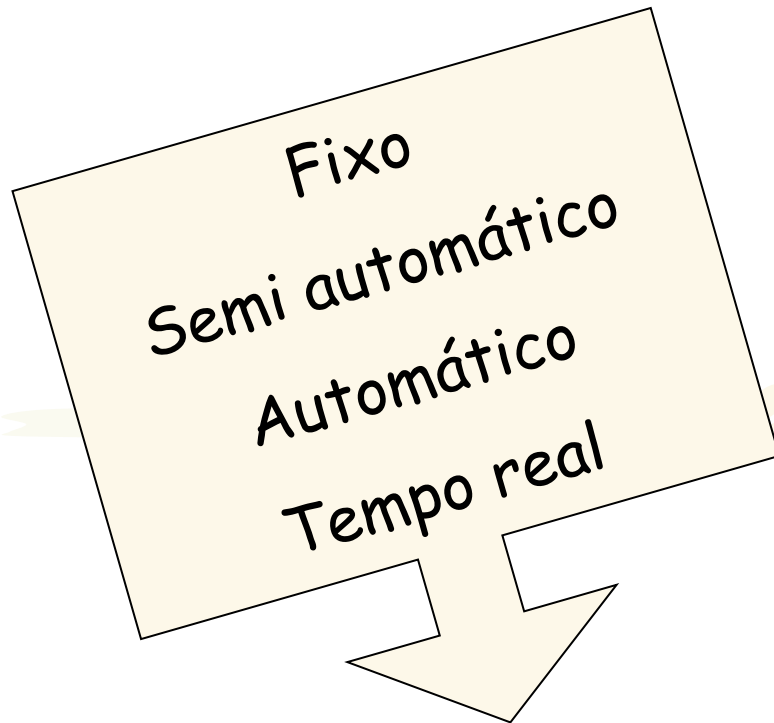


O que acontece??????

- # Sobre-excitação do gerador - "curva de Culpabilidade" com limitação de alimentação de carga capacitiva.
- # Mudança da impedância da rede, com possibilidades de ressonância, mesmo que não ocorra quando da alimentação pelo trafo. ("efeito apagão"). Trafo/Gerador de 1000 kVA com 200 kVAr: Mudança da frequência de ressonância da 10^a harmônica para a 5^a harmônica!!!!
- # O capacitor é uma das partes mais sensíveis do sistema, e não suporta "desaforos". Quando ele queima, a impedância do sistema muda. Quando bem tratados, duram 15 anos.
- # Injeção de reativo pode não ser adequada ao "tempo da carga"

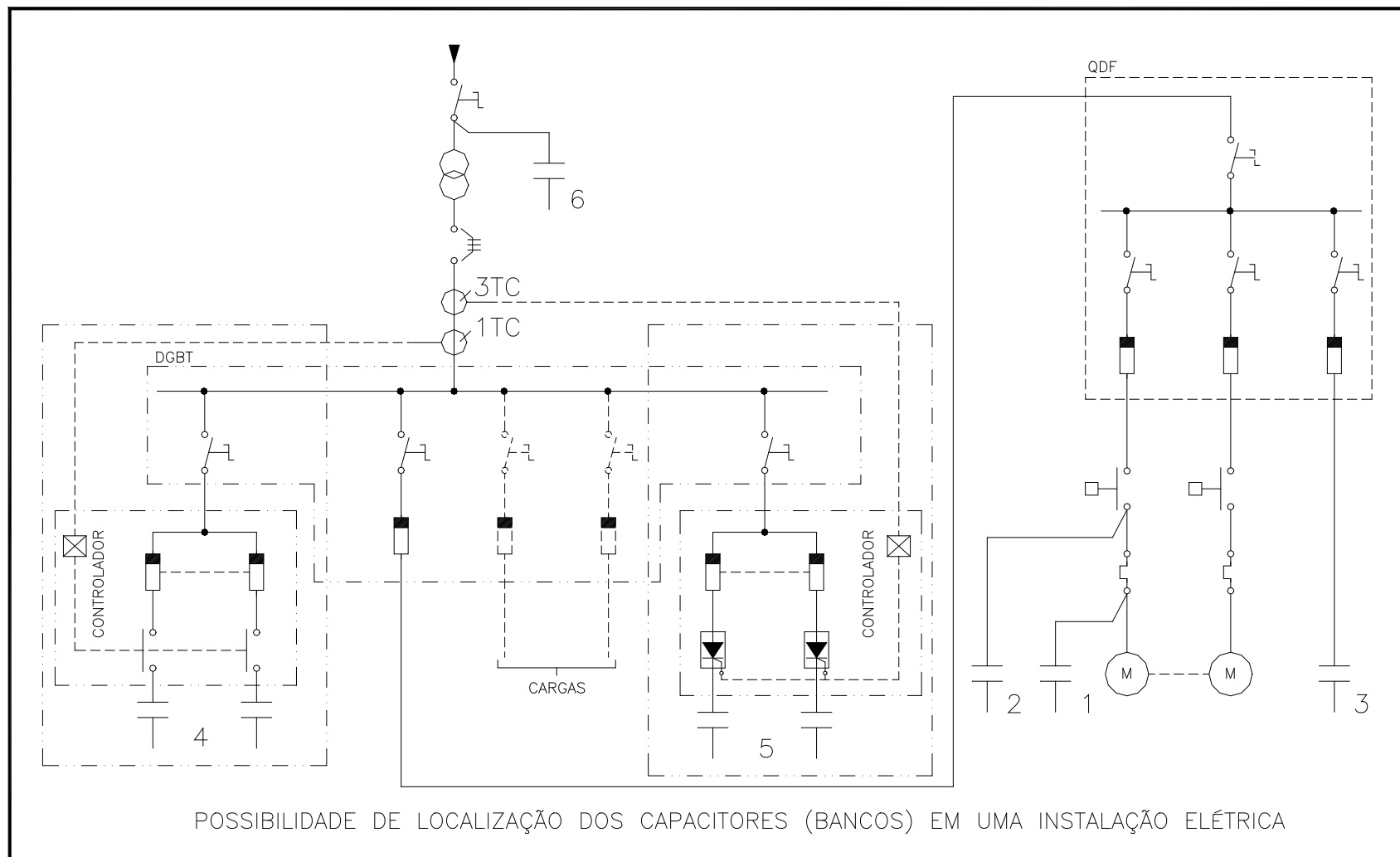
Sistemas de compensação de reativos

Alguns aspectos de decisão



solução

Métodos da compensação da Energia Reativa



Capacitores, V_{nom} e V serviço

$$Z_{cte} = 1/WC$$

$$Q_{cap} = U^2/Z$$

$$\text{Se: } U_{serv} < U_{nom} ; Q = (U_{serv}/U_{nom})^2$$

$$(220/380)^2 = 0,33 \quad (380/440)^2 = 0,75$$

$$30 \text{ kVAr}/220, \text{ ligado em } 380; 0,33 \times 30 = 10 \text{ kVAr}$$

Inserção de L em série com C - $U \sim ZL/ZC$;

"Nem sempre se pode aproveitar os capacitores existentes na inserção de indutores"

$$\text{Se } ZL/Zc = 7\% \quad U_{cap} = U_n/0,93; \quad \text{Se } U_n = 220V;$$

$$U_{cap} \sim 237V \text{ (além das sobretensões da rede)}$$

Manobra: Estática vs. Eletro-Mecânica

Vantagens da manobra estática:

- Isenção de Transientes
- Prevenção de desgaste de contato
- Ilimitado número de Conexões e Desconexões
- Tempo da manobra

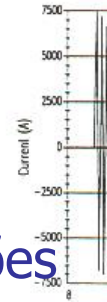


Figure 2-

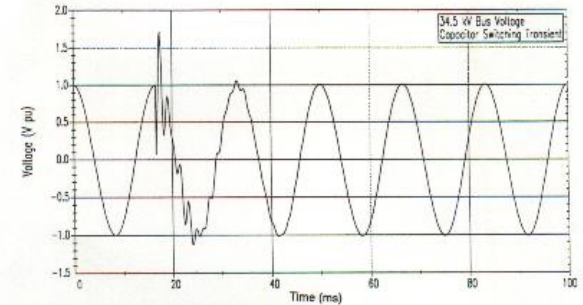
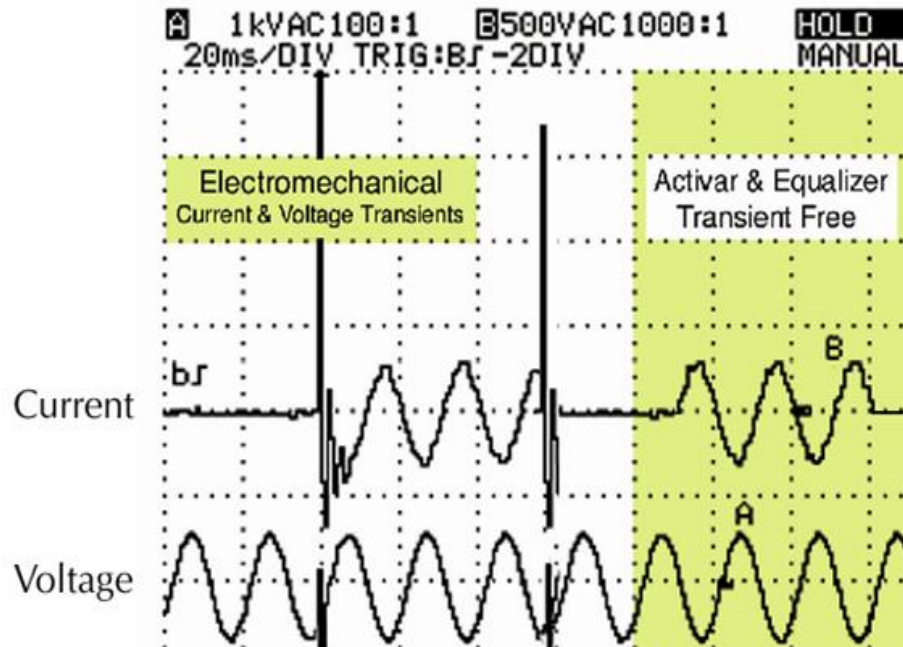


Figure 3—Low frequency oscillatory transient caused by capacitor-bank energization

Manobra
Eletro-Mecânica



Manobra
Estática

Ajuste de $\cos \varphi$ ($\cos \varphi$)	0,8 (Ind)...0,95 (Cap)
Programação do fator de distorção ($d\%$)	1...999 %
Tempo de conexão do capacitor (T_r)	0...999 s
Tempo de reconexão do capacitor	20...999 s

COMPENSAÇÃO EM TEMPO REAL

resumo de características

- Tempo de resposta
- Isenção de transientes de manobra
- Qualidade de energia assegurada
- Compatibilidade a cargas não lineares
- Confiabilidade
- Flexibilidade
- **kW=kVA**



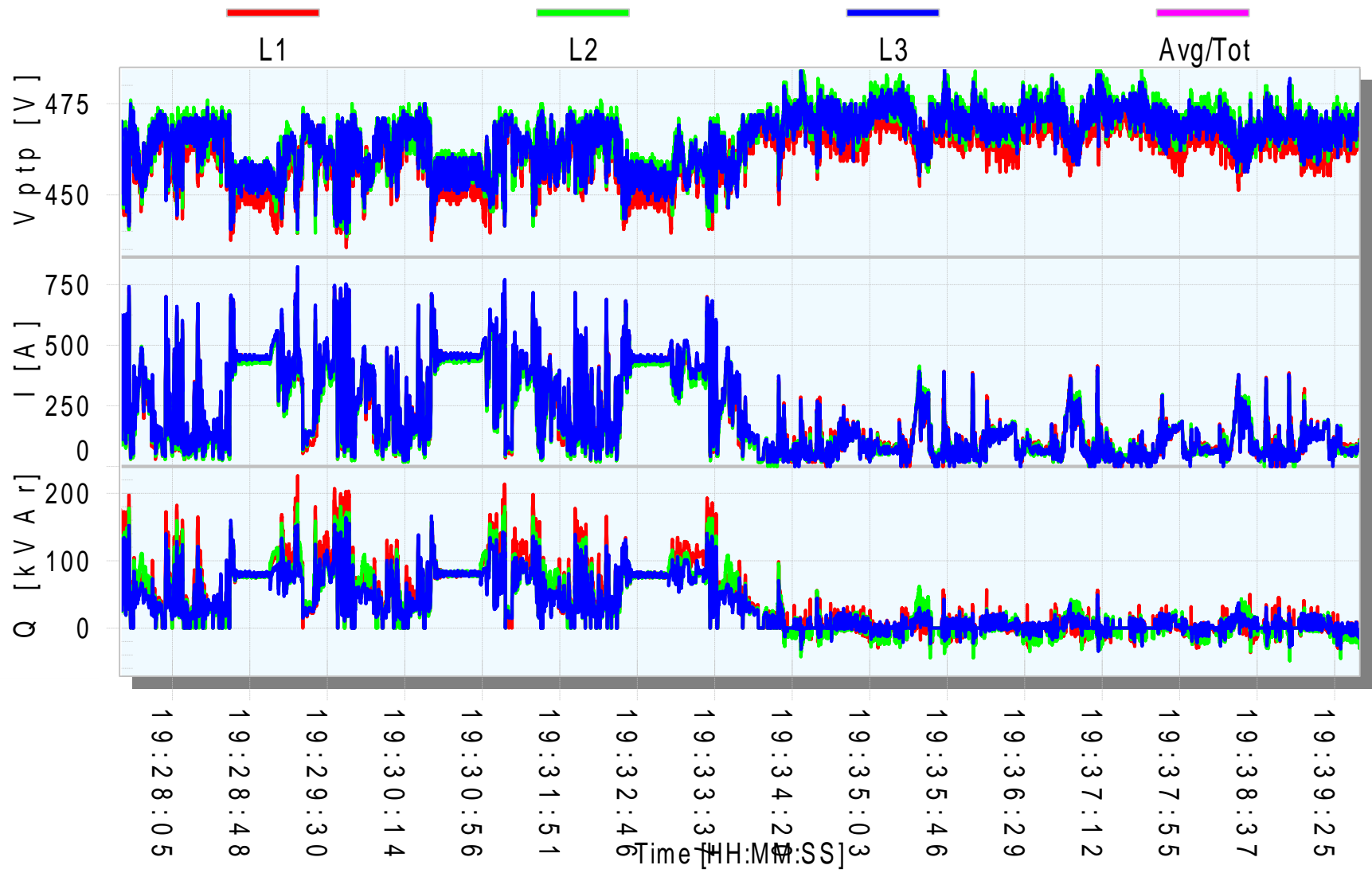
Santos Port, Brazil
12 systems, 3.8 MVA total



Guindastes

TECON-PT3-START-UP

Ação Engenharia e Instalações Ltda



840 kVAr

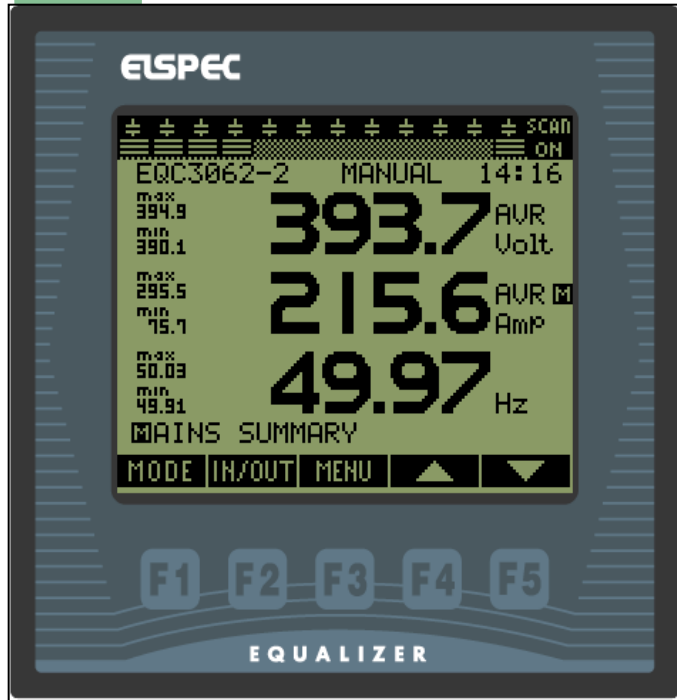
1-2-1-2-2-2





Componentes do Sistema

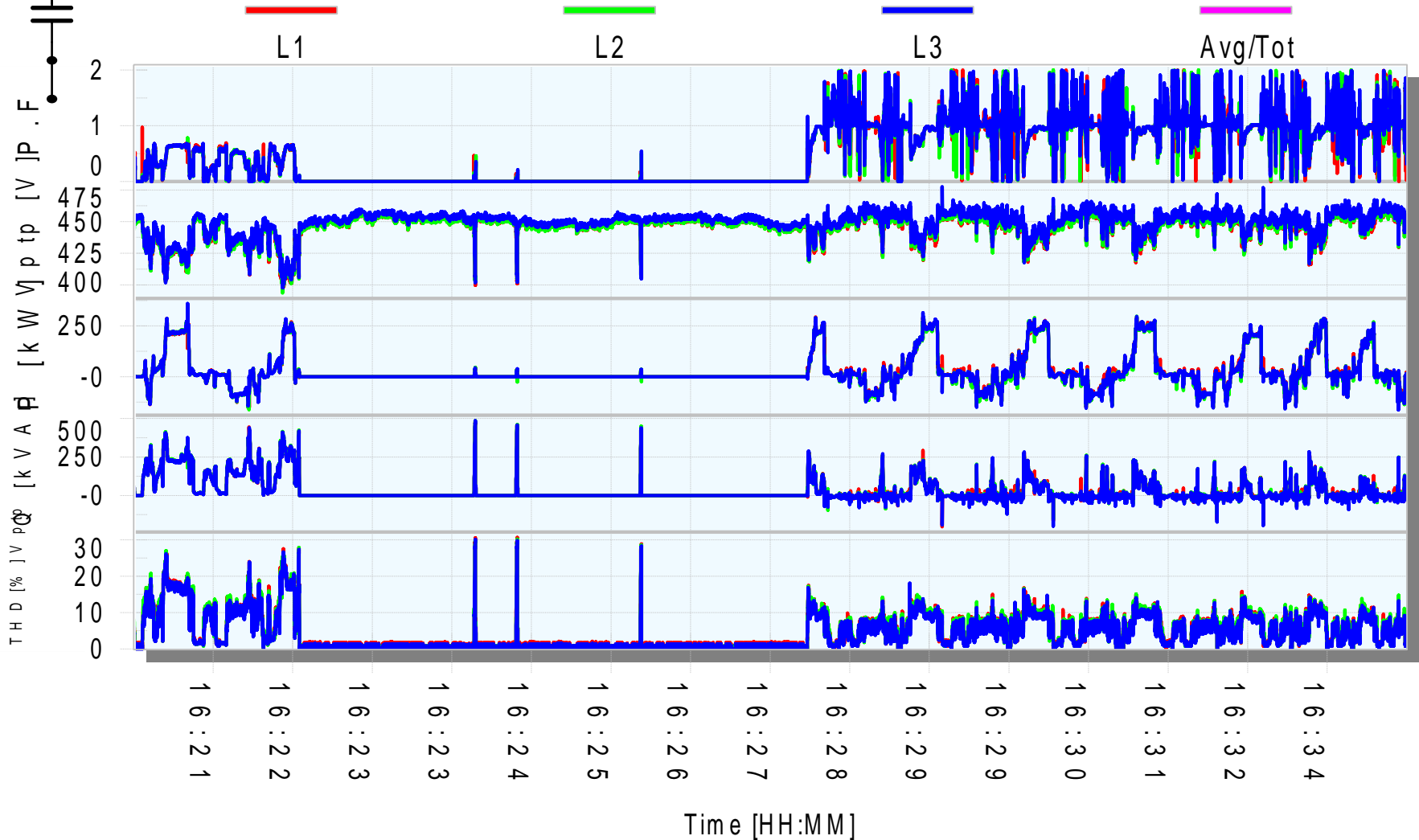
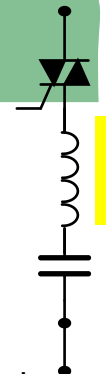
Chave estática



O Controlador

Módulo
Capacitor e
Indutor

Case-compensação reativa e THDV

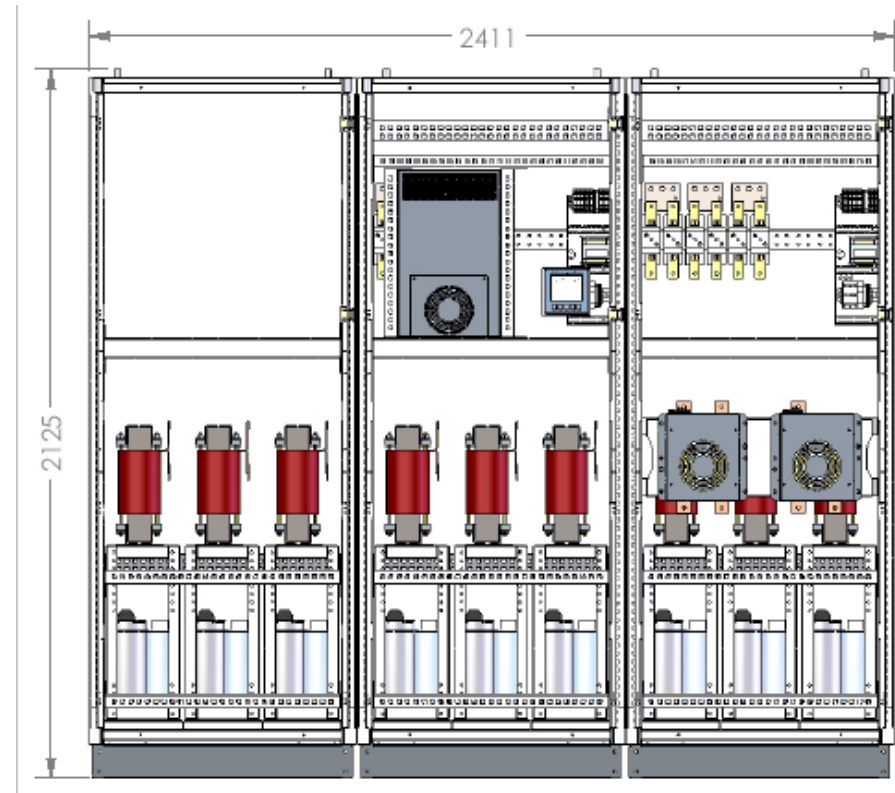
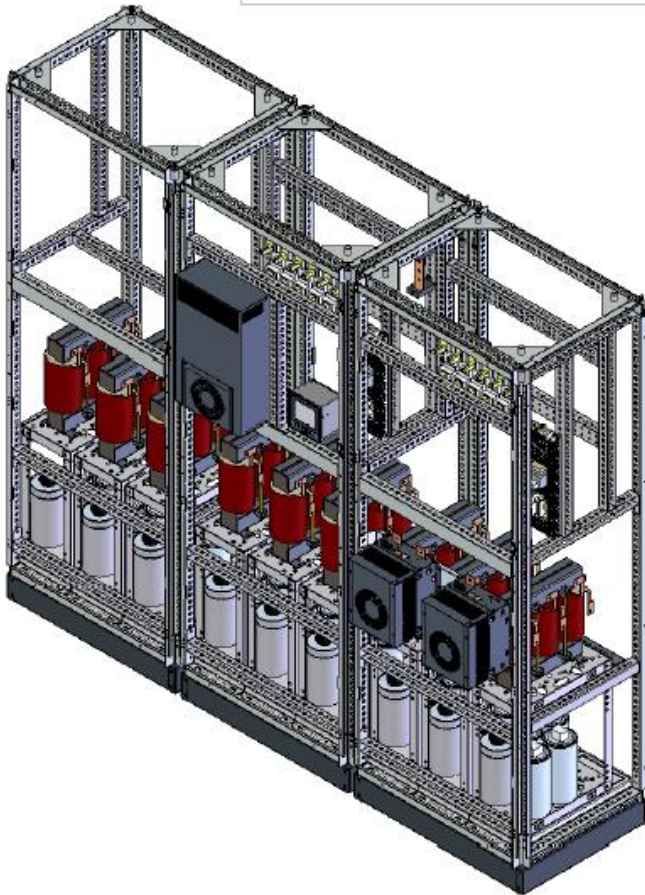


Solução de compensação tempo real



Solda a ponto - automobilística

Confiabilidade do projeto ao start-up

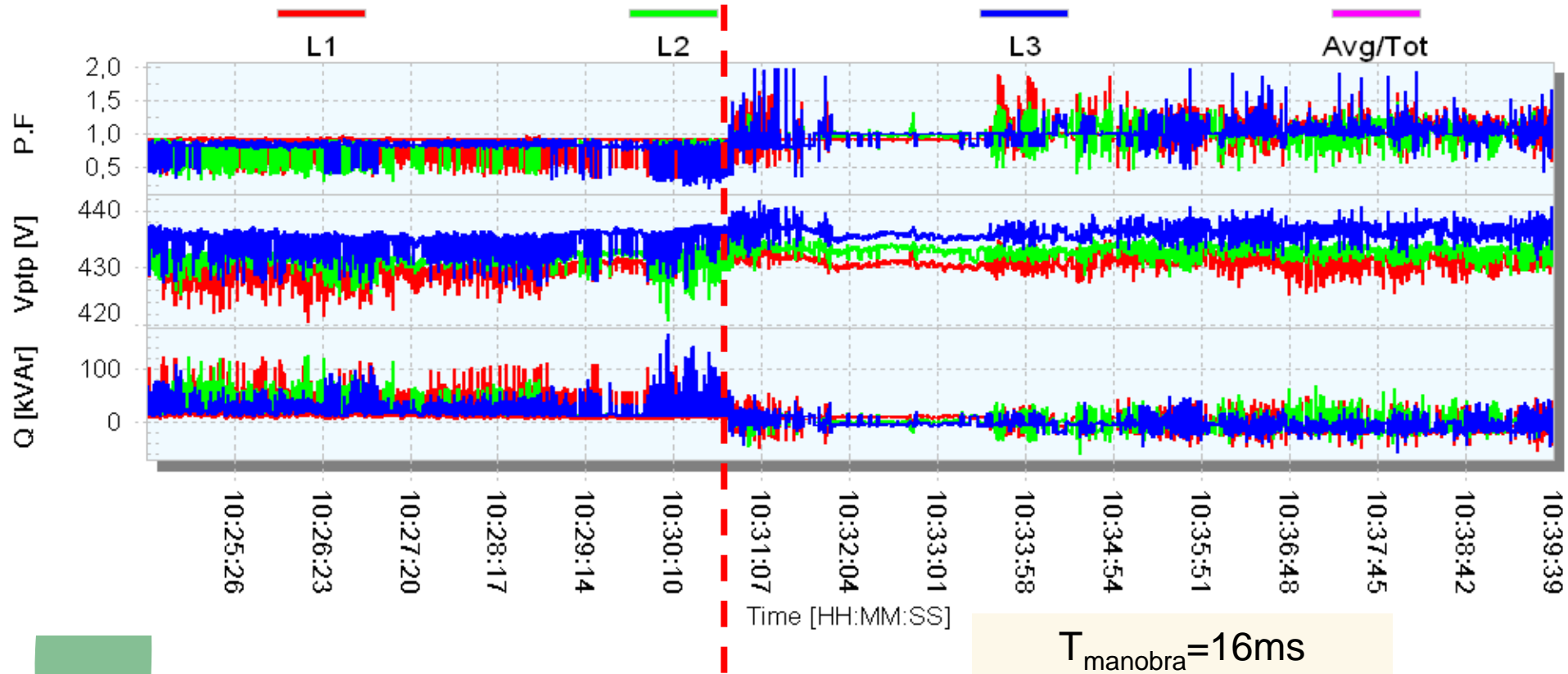


Equipamentos compactos

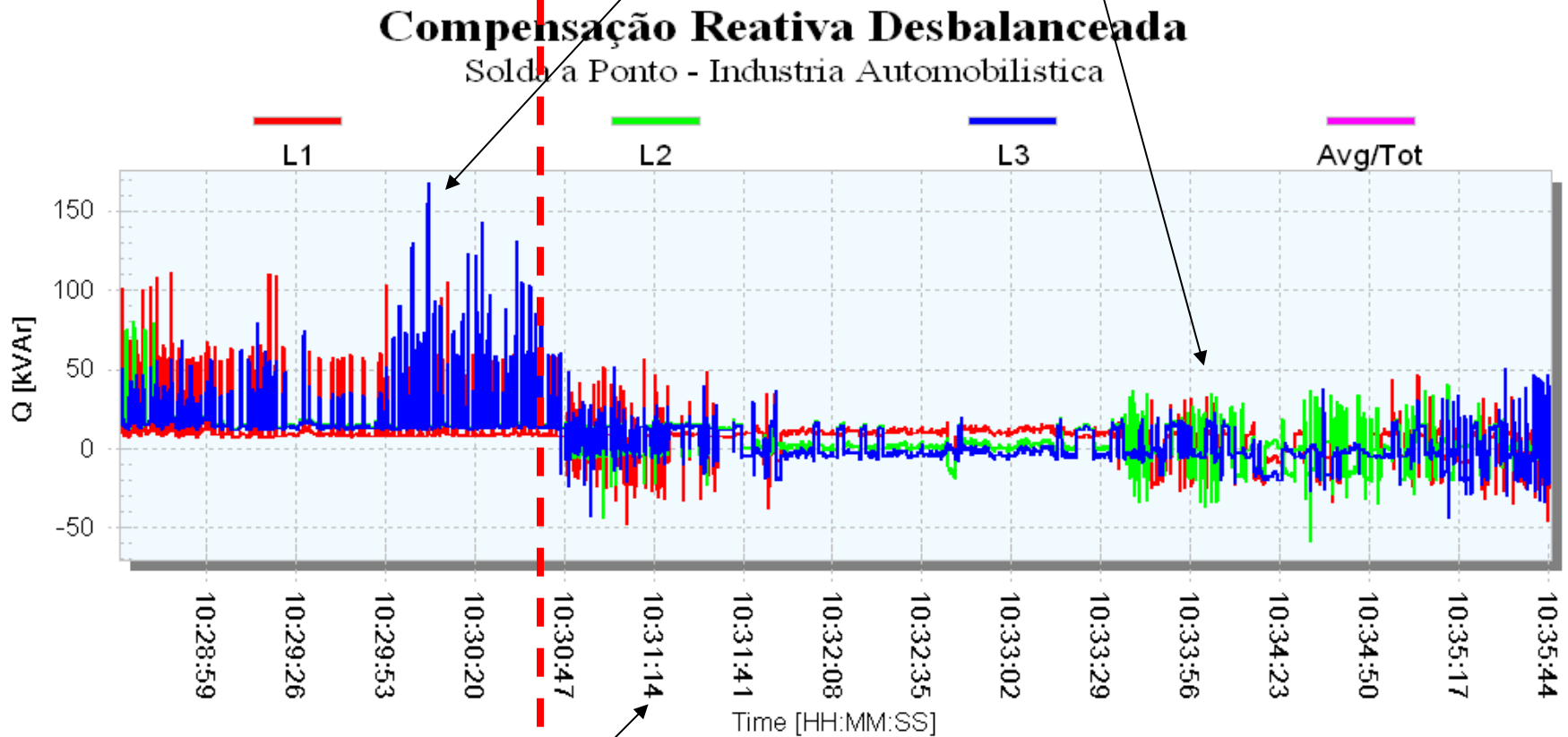
O comportamento geral

← antes depois →

Compensação Reativa Desbalanceada Solda a Ponto - Industria Automobilistica



Consumos maiores de 150 kvar por fase são reduzidos a valores menores de 50 kvar

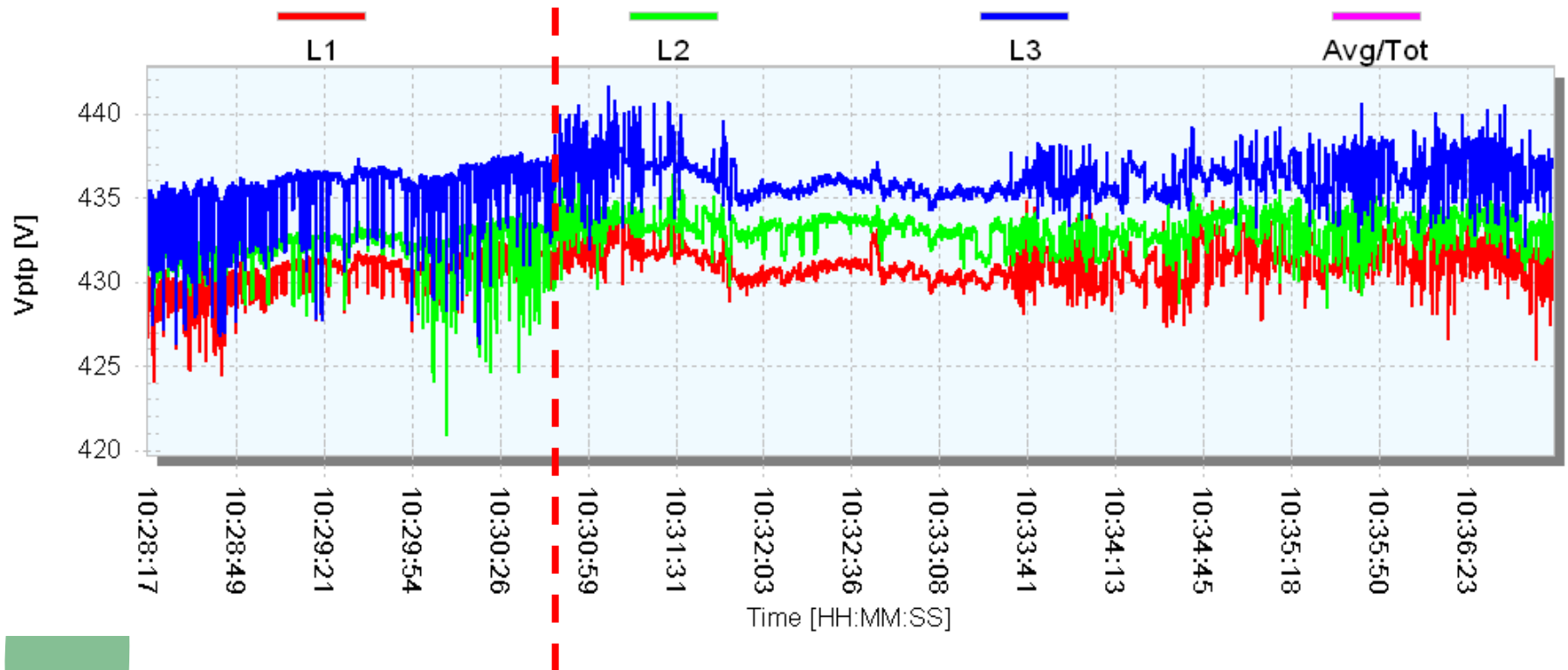


Tempos extremamente curtos

Sensível melhora da regulação de tensão

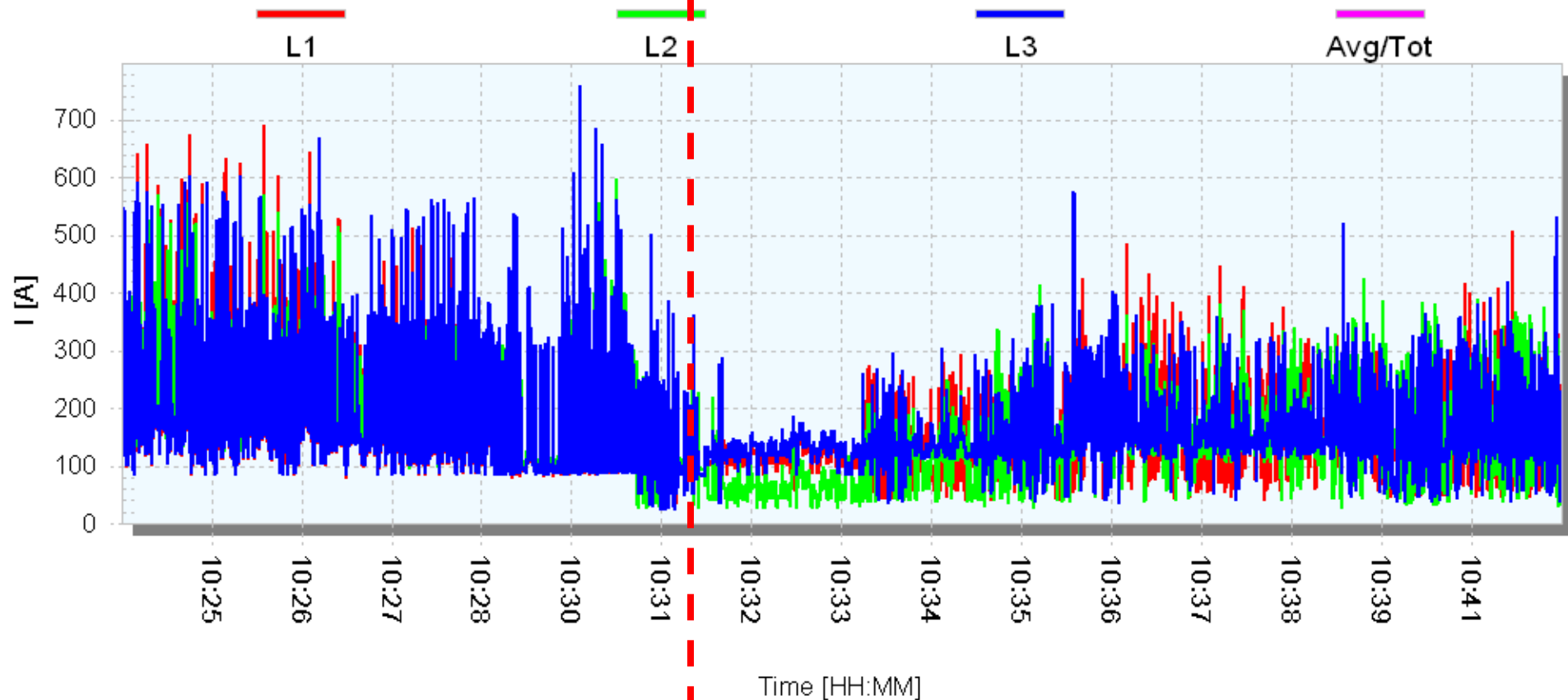
Compensação Reativa Desbalanceada

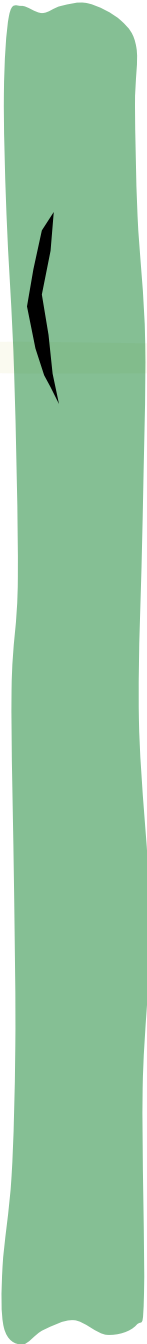
Solda a Ponto - Industria Automobilistica



Sensível redução da corrente elétrica

Comportamento da corrente





That's All

