



UFPR



TE 274 Tópicos Avançados em Eletrônica I

Cap. 7 – Variação de tensão em regime permanente

Prof. Mateus Duarte
Teixeira (por J.C. Oliveira)

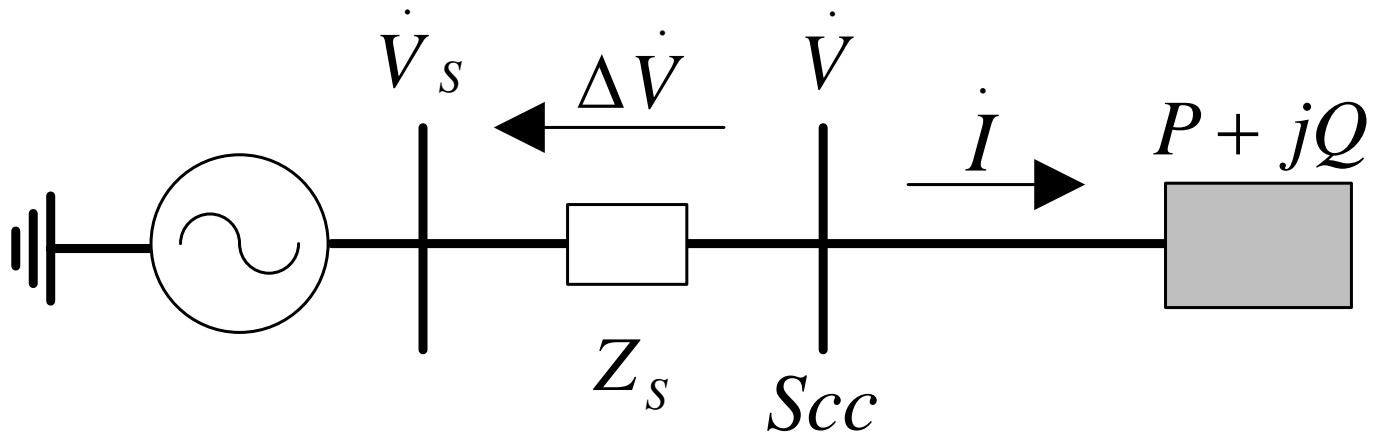
1. Definição

“Variações de tensão de longa duração são desvios que ocorrem no valor eficaz desta grandeza, na frequência do sistema, com duração superior a 3 minutos”

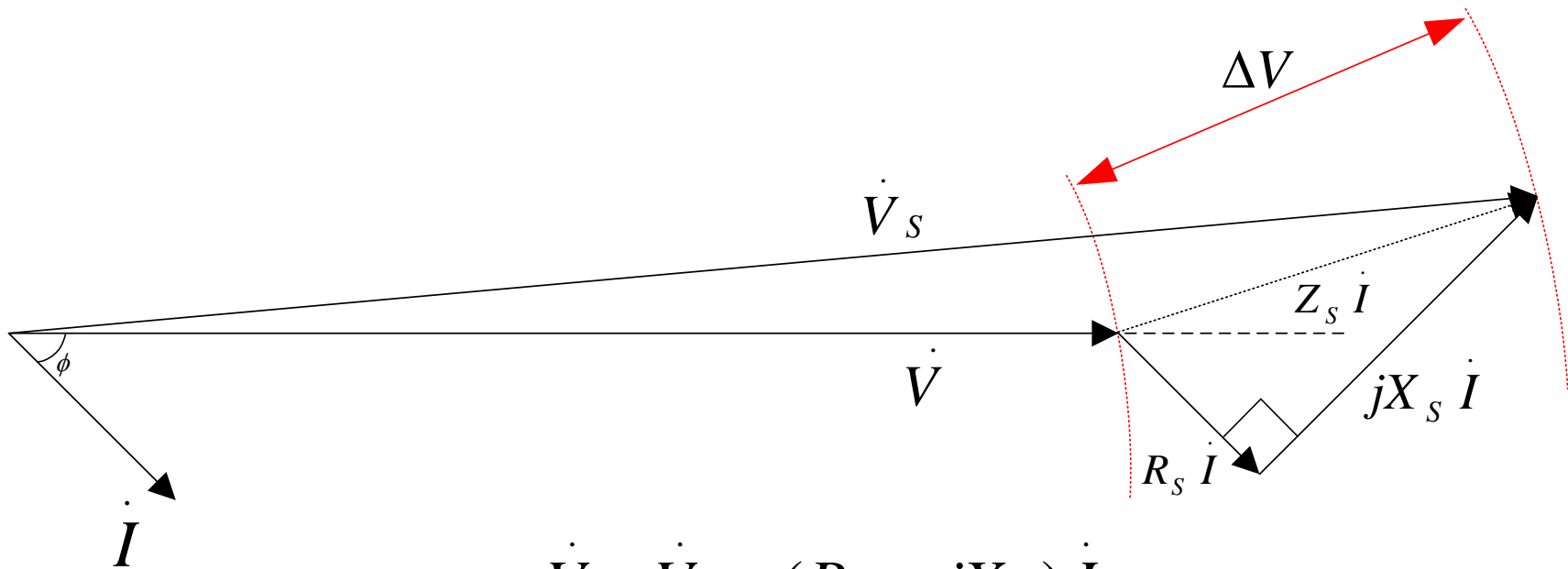
1. Origem das Variações de Tensão

- Operação de disjuntores;
- Manutenção;
- Carregamento dos Condutores;
- Variação de Cargas;
- Chaveamento de Capacitores;
- Fiação mal dimensionada ou conexões mal feitas.

1. Origem das Variações de Tensão



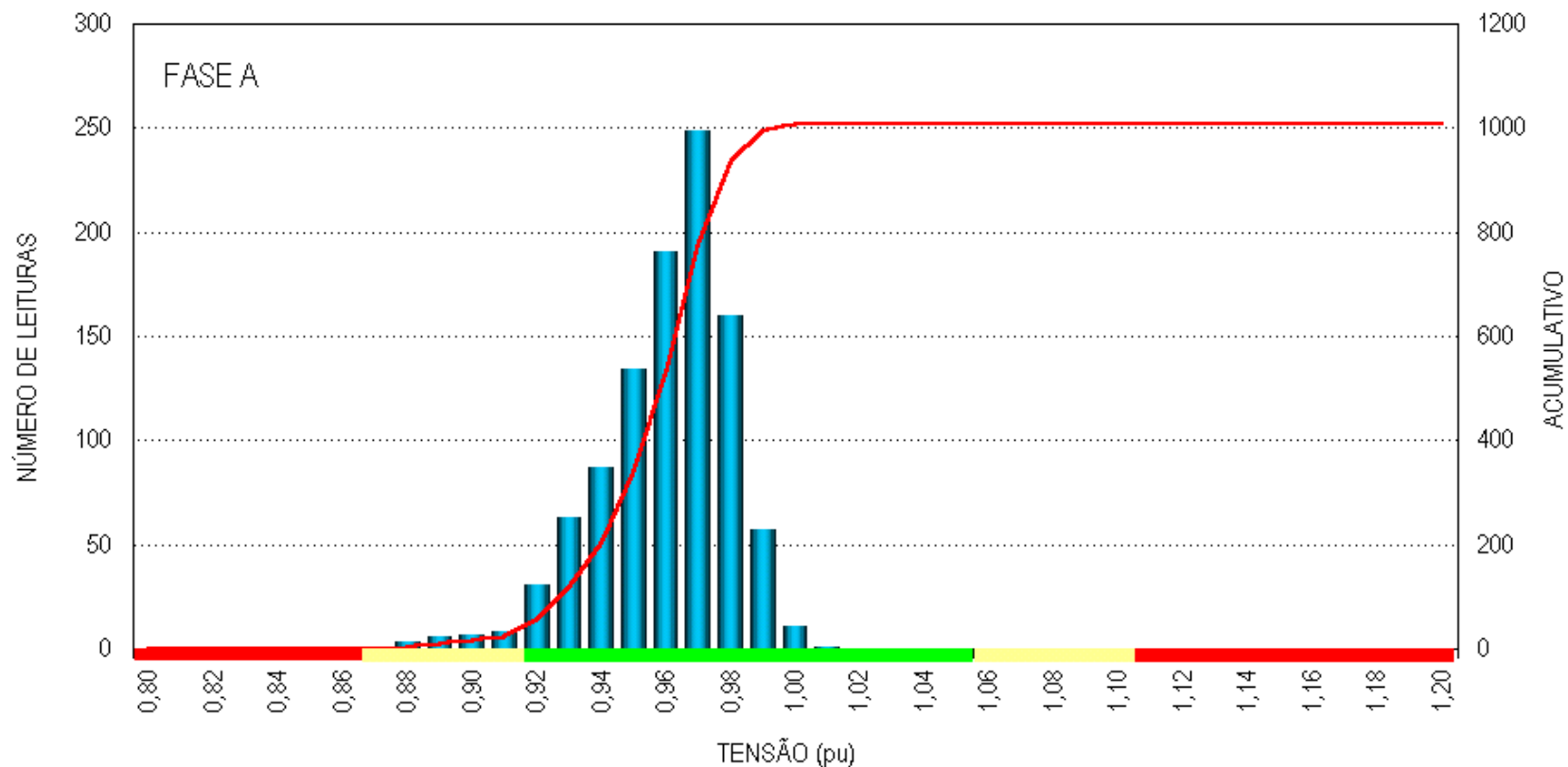
1. Origem das Variações de Tensão



$$\dot{V} = \dot{V}_s - (R_s + jX_s) \dot{I}$$

$$\frac{\Delta V}{V} \approx \frac{\Delta Q}{S_{cc}}$$

2. Exemplo de Histograma de Tensão



3. Limites de Faixas de Tensão - PRODIST

Tabela 3 – Pontos de conexão em Tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Tabela 4 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (220/127)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(201 \leq TL \leq 231) / (116 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(189 \leq TL < 201$ ou $231 < TL \leq 233) /$ $(109 \leq TL < 116$ ou $133 < TL \leq 140)$
Crítica	$(TL < 189$ ou $TL > 233) / (TL < 109$ ou $TL > 140)$

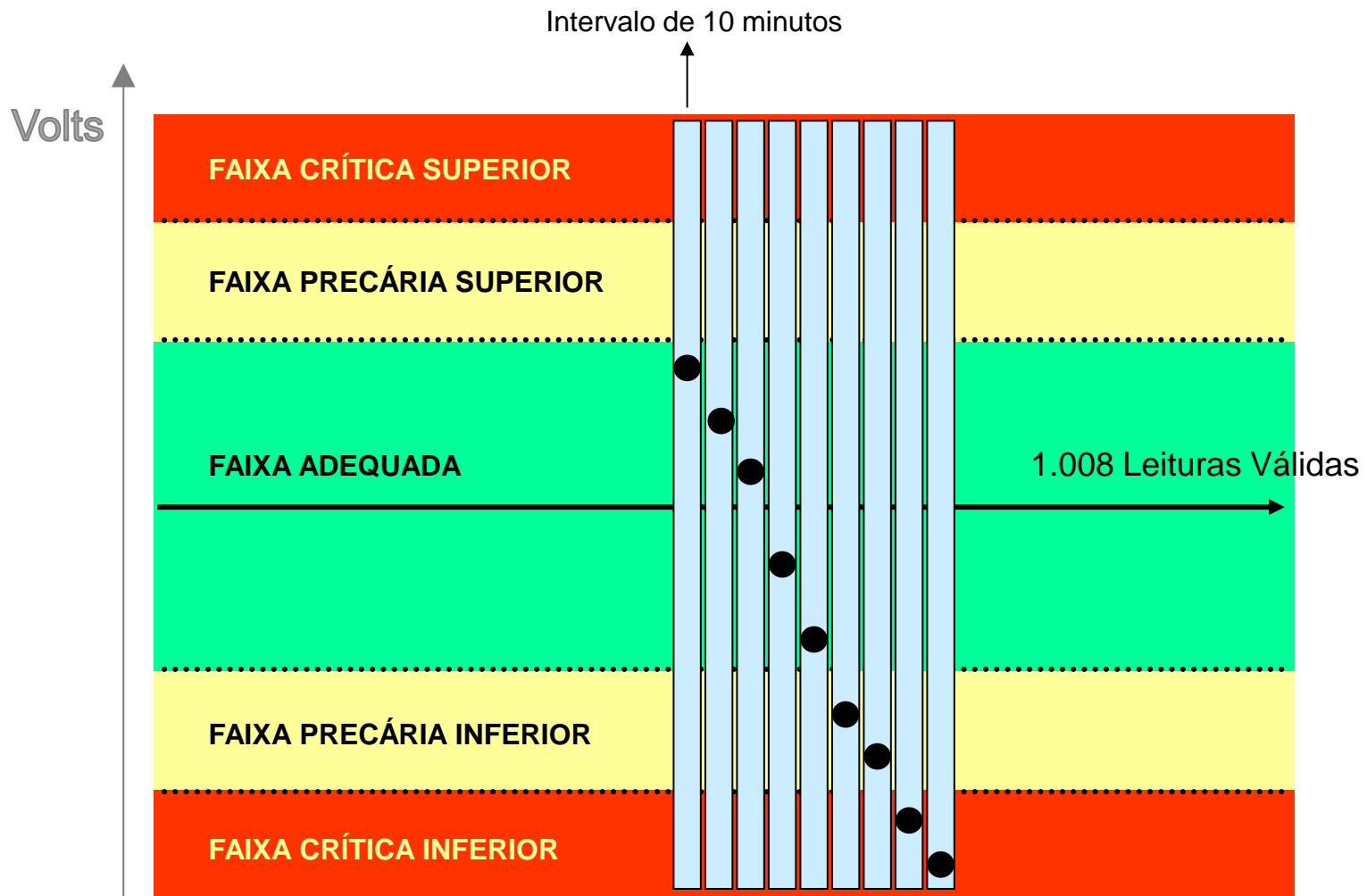
4. Amostragem das Medições para redes elétricas

✓ Medições Amostrais

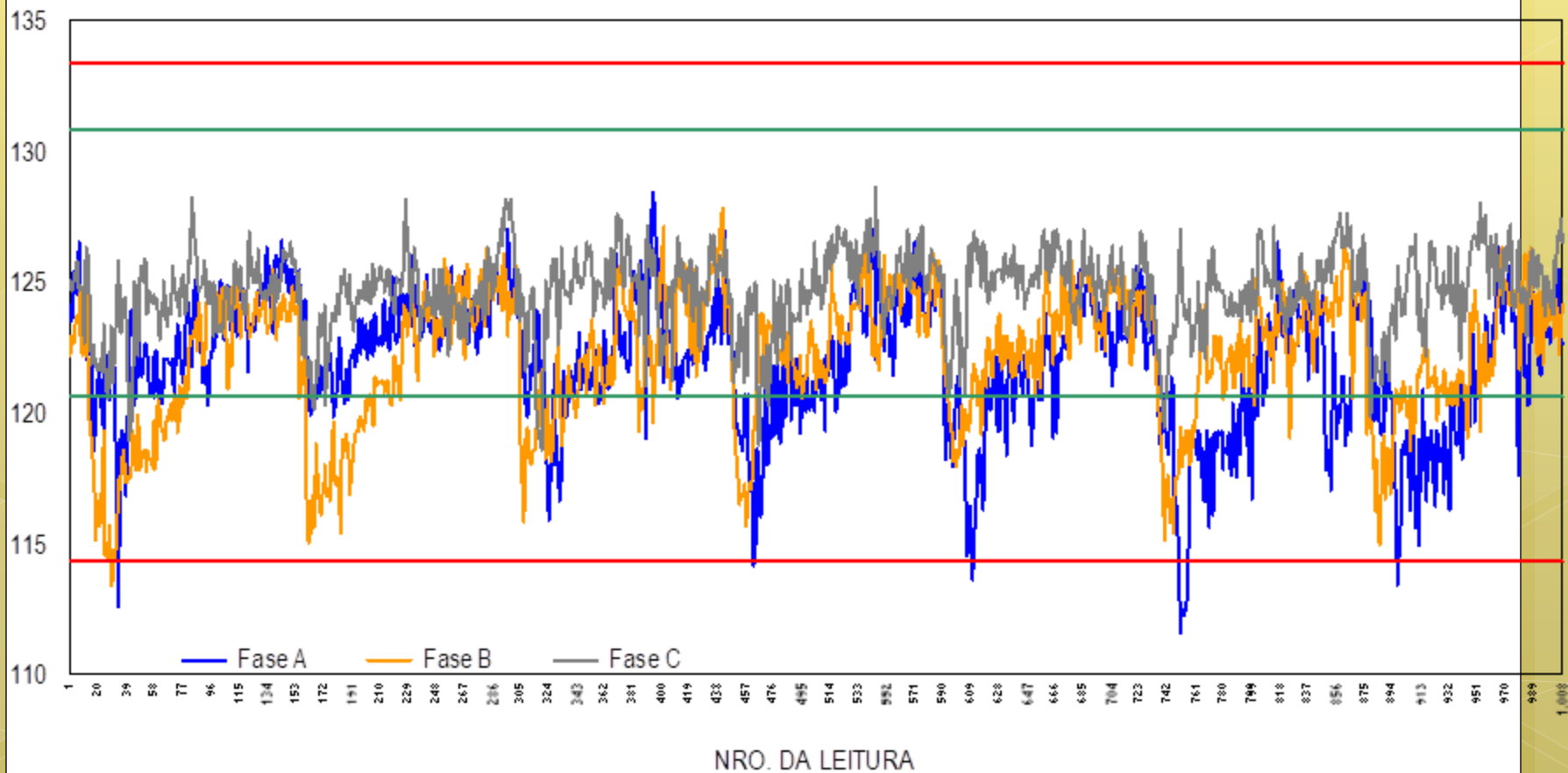
Número total de unidades consumidoras da concessionária (N)	Dimensão da amostra (Unidades consumidoras)	Dimensão da amostra com a margem de segurança (Unidades consumidoras)
$N \leq 30.000$	36	42
$30.001 \leq N \leq 100.000$	60	66
$100.001 \leq N \leq 300.000$	84	93
$300.001 \leq N \leq 600.000$	120	132
$600.001 \leq N \leq 1.200.000$	156	172
$1.200.001 \leq N \leq 2.000.000$	210	231
$2.000.001 \leq N \leq 3.000.000$	270	297
$N \geq 3.000.001$	300	330

✓ Medições Solicitadas / Reclamações de Tensão

5. Faixas de Conformidade de Tensão em Regime Permanente



Exemplo de Medição



6. DRP – Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária

- Indicador individual referente à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão precária, no período de observação definido, expresso em percentual

$$DRP = \left(\frac{nlp}{1.008} \right) \cdot 100$$

● X 10 Leituras

● X 8 Leituras

● X 925 Leituras

● X 50 Leituras

● X 15 Leituras

$$DRP = \left(\frac{58}{1.008} \right) \cdot 100 = 5,75\%$$

7. DRC – Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica

- Indicador individual referente à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão crítica, no período de observação definido, expresso em percentual

$$DRC = \left(\frac{n_{lc}}{1.008} \right) \cdot 100$$

● X 10 Leituras

● X 8 Leituras

● X 925 Leituras

● X 50 Leituras

● X 15 Leituras

$$DRC = \left(\frac{25}{1.008} \right) \cdot 100 = 2,48\%$$

8. Compensação

Para o cálculo da compensação deve ser utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Valor} = \left[\left(\frac{\text{DRP} - \text{DRP}_M}{100} \right) \cdot k_1 + \left(\frac{\text{DRC} - \text{DRC}_M}{100} \right) \cdot k_2 \right] \cdot \text{EUSD}$$

$k_1 = 0$, se $\text{DRP} \leq \text{DRP}_M$;

$k_1 = 3$, se $\text{DRP} > \text{DRP}_M$;

$k_2 = 0$, se $\text{DRC} \leq \text{DRC}_M$;

$k_2 = 7$, para unidades consumidoras atendidas em Baixa Tensão, se $\text{DRC} > \text{DRC}_M$;

$k_2 = 5$, para unidades consumidoras atendidas em Média Tensão, $\text{DRC} > \text{DRC}_M$;

$k_2 = 3$, para unidades consumidoras atendidas em Alta Tensão, $\text{DRC} > \text{DRC}_M$;

DRP = valor do DRP expresso em %, apurado na última medição;

$\text{DRP}_M = 3$ %;

DRC = valor do DRC expresso em %, apurado na última medição;

$\text{DRC}_M = 0,5$ %;

EUSD = valor do encargo de uso do sistema de distribuição referente ao mês de início da realização da medição pelo período mínimo de 168 horas.

9. Soluções

- **Compensação direta:** equipamentos que utilizam a filosofia da mudança manual ou automática de tapes ou aqueles que inserem de tensões de compensação controladas, aditivas ou subtrativas, àquelas disponibilizadas pela rede supridora;
- **Compensação indireta:** técnica atrelada com equipamentos que operam à base do controle do fluxo de potência reativa.

9. Soluções

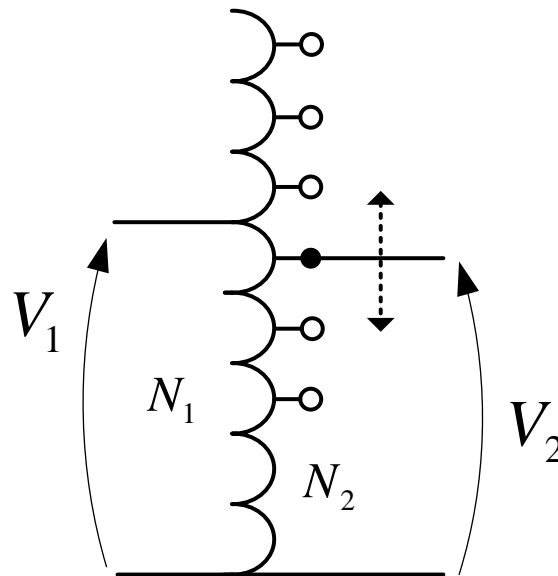
Reguladores de Ação Direta

- Exemplos de reguladores baseados na mudança automática de tapes: Toshiba TB-R1000, COOPER VR-32 e ITB RAV-2;
- Exemplos de reguladores que inserem tensões de compensação controladas: SIPCON S, DVR, Softswitching DySC.

9. Soluções

Princípio físico dos reguladores de Ação Direta baseados em mudança de TAPS

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \rightarrow V_2 = \frac{V_1 N_2}{N_1}$$



9. Soluções

Reguladores Monofásicos

- Utilizado para manter regulada a tensão na carga, através de um comutador de derivações em carga monofásico. São montados em bancos trifásicos, conexão delta, delta aberto ou estrela aterrada, permitindo a regulação da tensão em cada linha individualmente ou através de um sistema mestre comandado, onde a tensão é regulada para as três fases em um mesmo nível, substituindo os reguladores de tensão trifásicos com inúmeras vantagens, cuja principal é o reduzido preço.
- Tensão: Até 36.2kV



9. Soluções

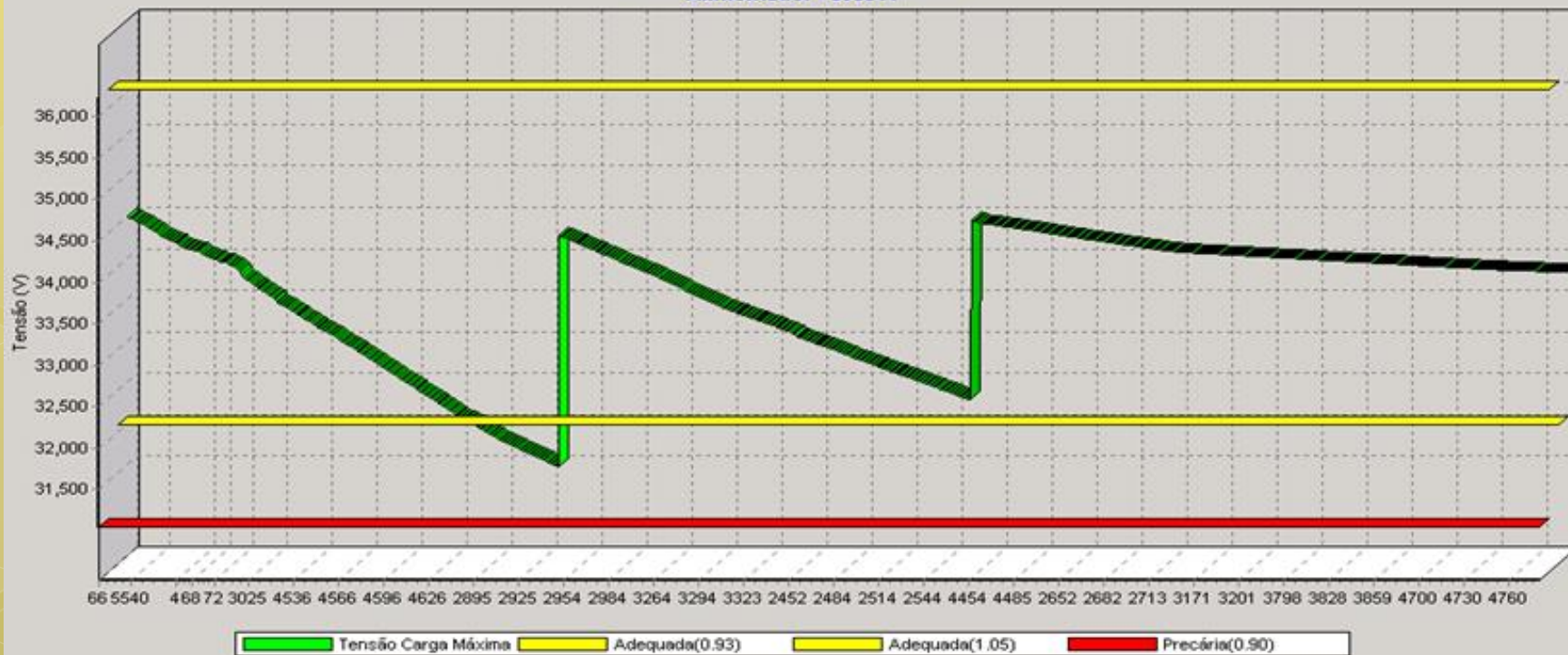
Reguladores Monofásicos



9. Soluções

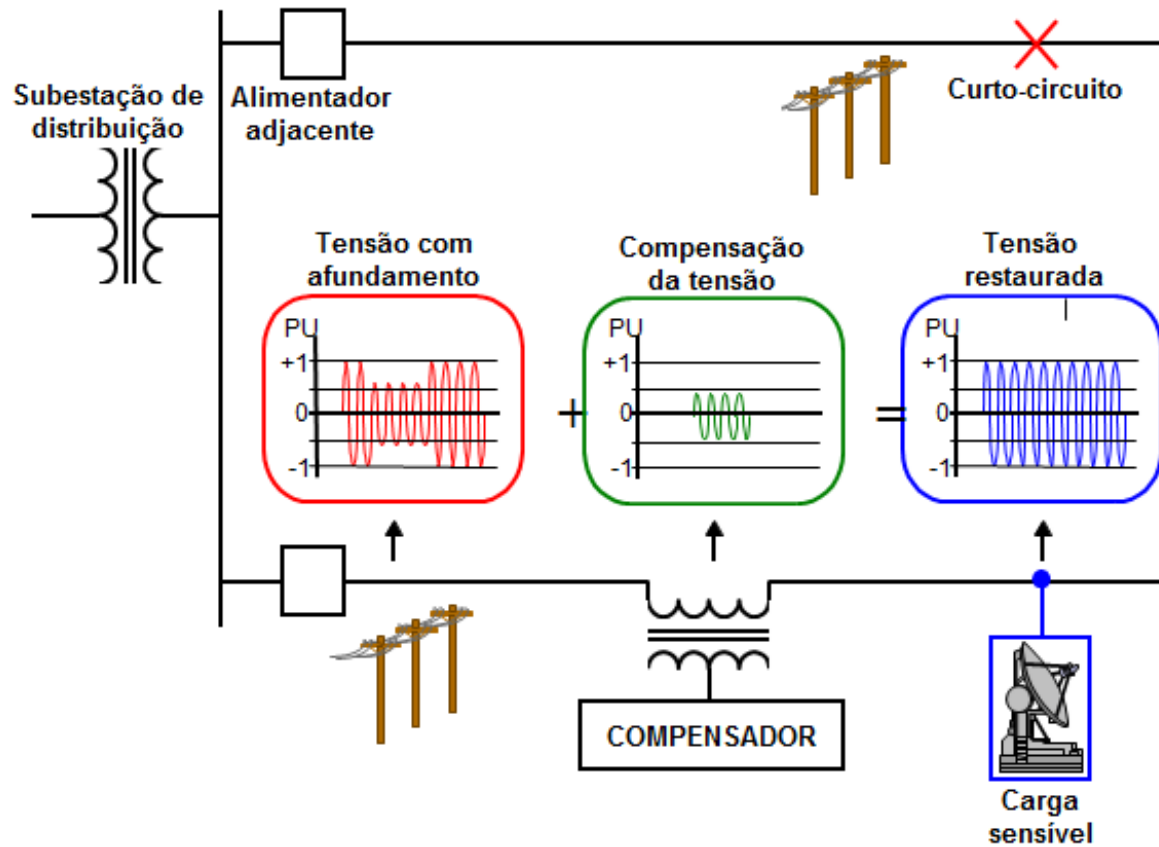
Exemplo de atuação do Regulador de Tensão

PERFIL DE TENSÃO ENTRE FASES
Alimentador - 096011



9. Soluções

Princípio físico dos reguladores de ação direta via inserção de tensões de compensação



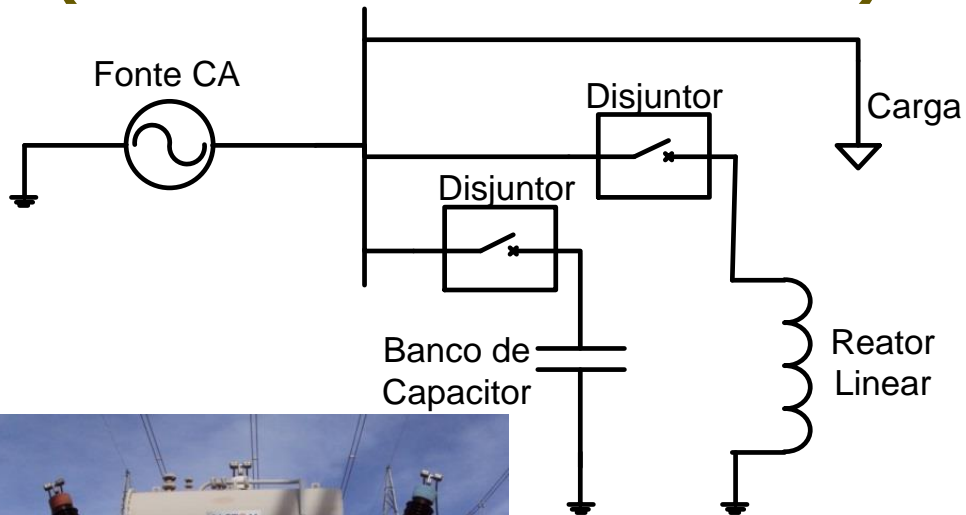
9. Soluções

Reguladores de Ação Indireta

- Alguns exemplos clássicos de dispositivos para compensação indireta da tensão através do controle do fluxo da potência reativa:
 - Bancos de capacitores e/ou reatores, fixos ou variáveis, manuais e automáticos;
 - Compensadores síncronos;
 - RCTs (Reatores Controlados a Tiristores);
 - CCTs (Capacitores Chaveados a Tiristores);
 - Tecnologia UPFC (Unified Power Flow Controller): STATCOM, SIPCOP, dentre outros.

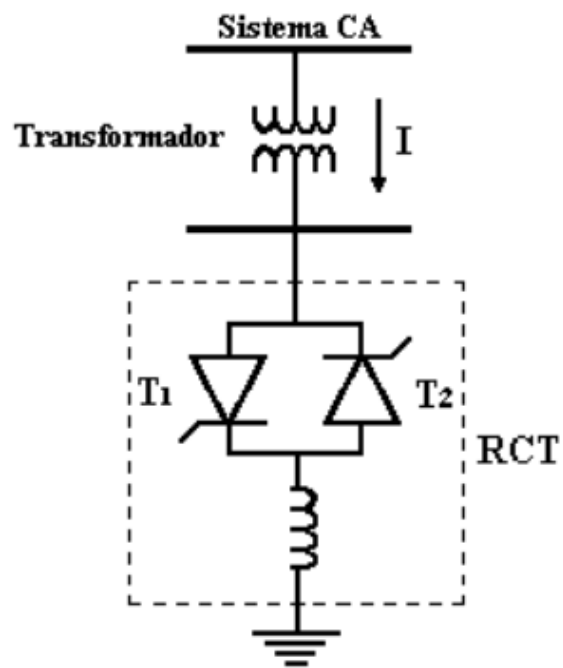
9. Soluções

Reator Linear e Banco de Capacitores (chaveamento mecânico)



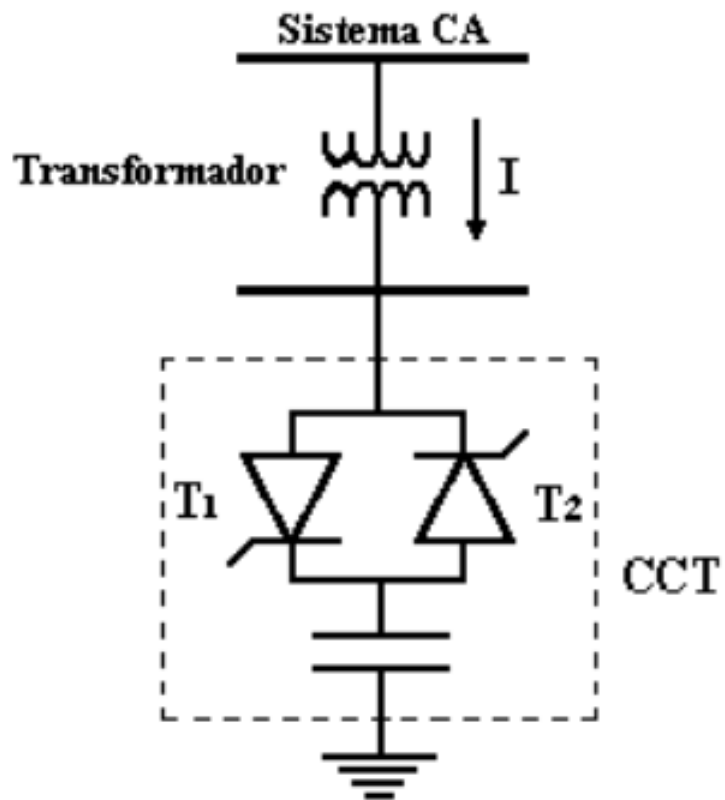
9. Soluções

Reator Controlado a Tiristores - RCT



9. Soluções

Capacitor Chaveado a Tiristores - RCT



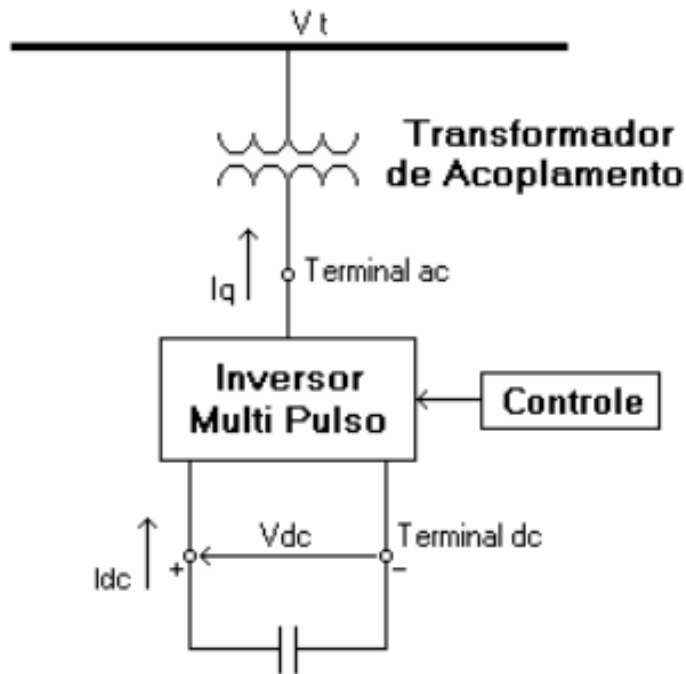
9. Soluções

Compensadores Síncronos



9. Soluções

Static Synchronous Compensator– STATCOM



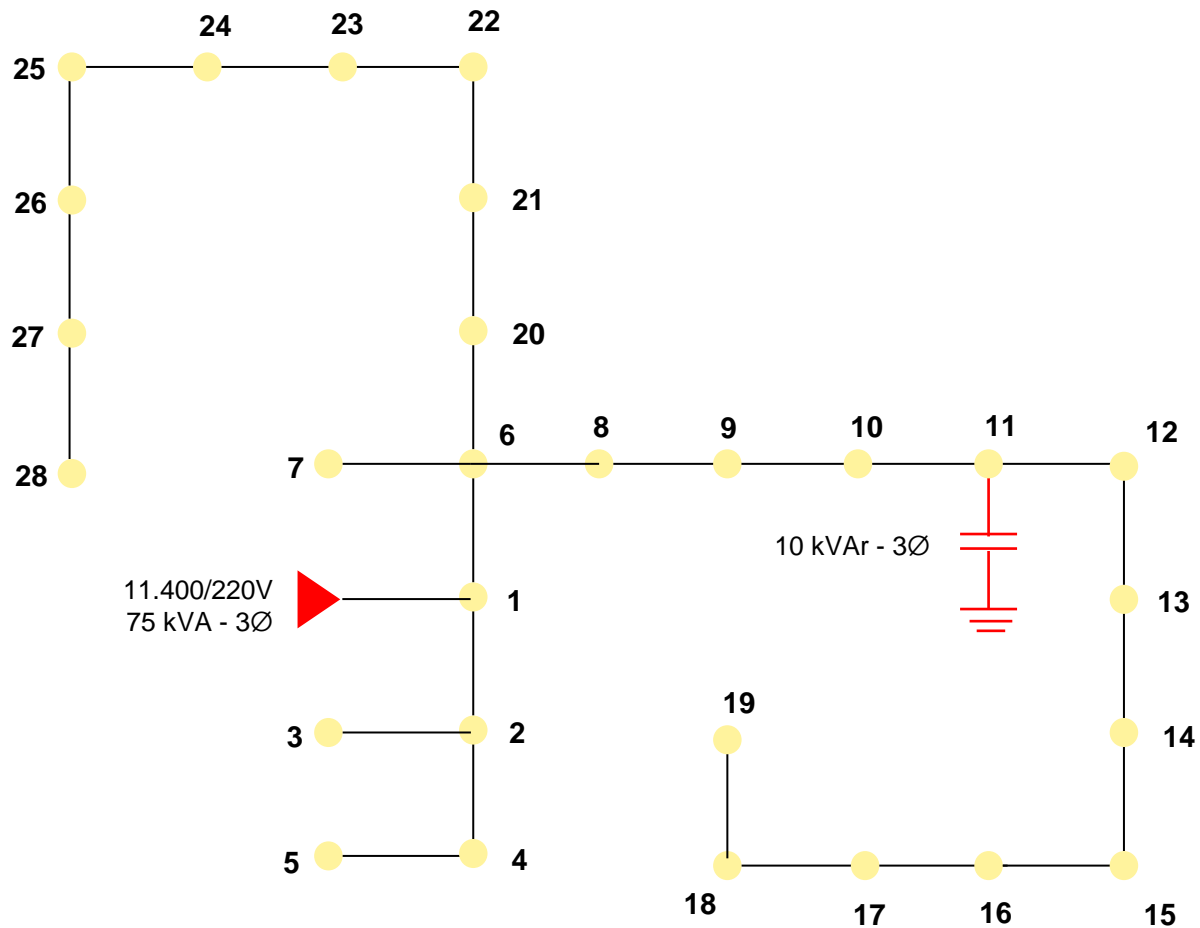
9. Soluções

Utilização de Capacitores de Baixa Tensão



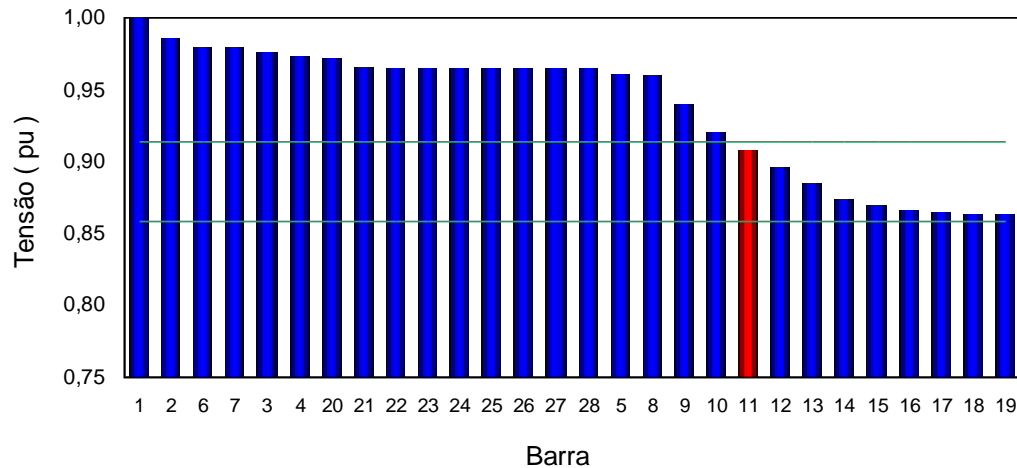
9. Soluções

Utilização de Capacitores de Baixa Tensão

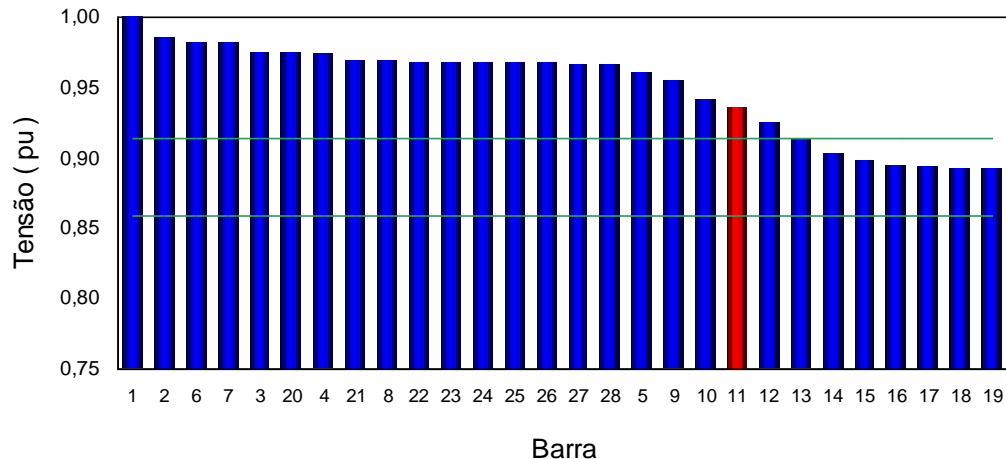


9. Soluções

Utilização de Capacitores de Baixa Tensão



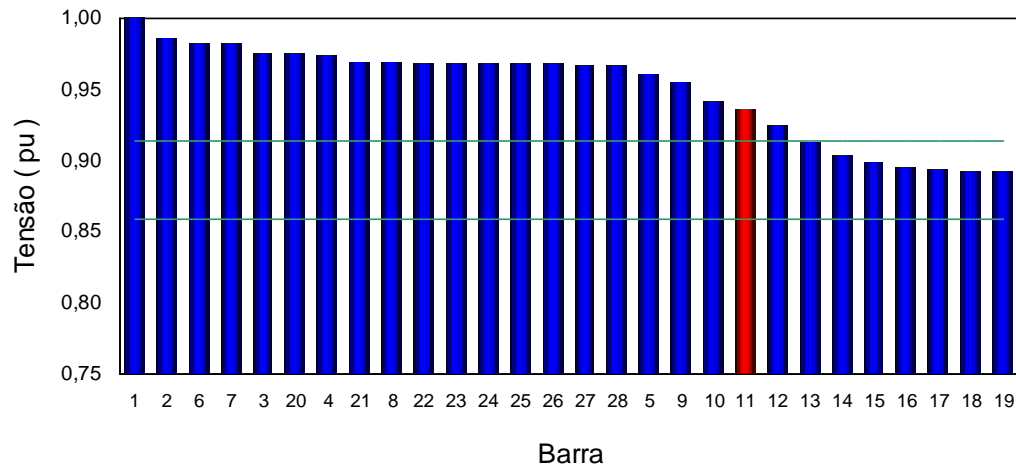
Caso Base
Resultados obtidos
sem o capacitor



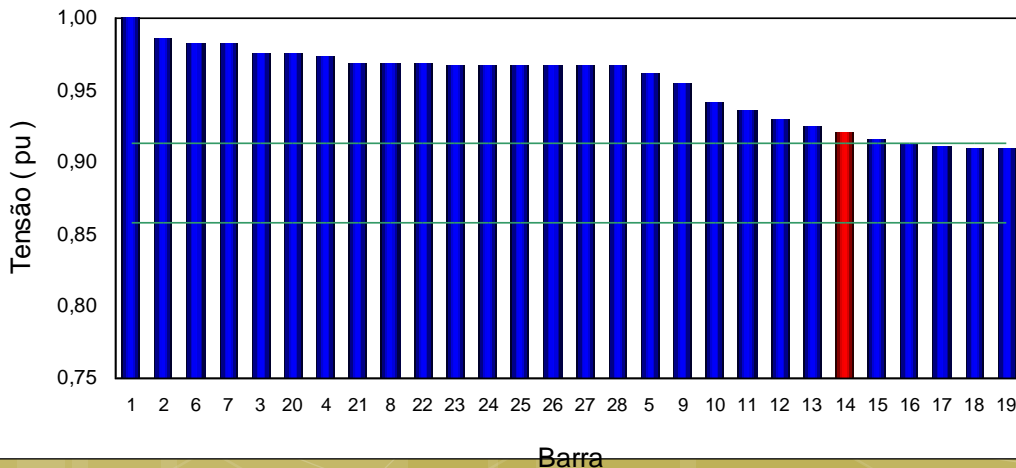
Caso 01
Capacitor conectado
na Barra 11

9. Soluções

Utilização de Capacitores de Baixa Tensão



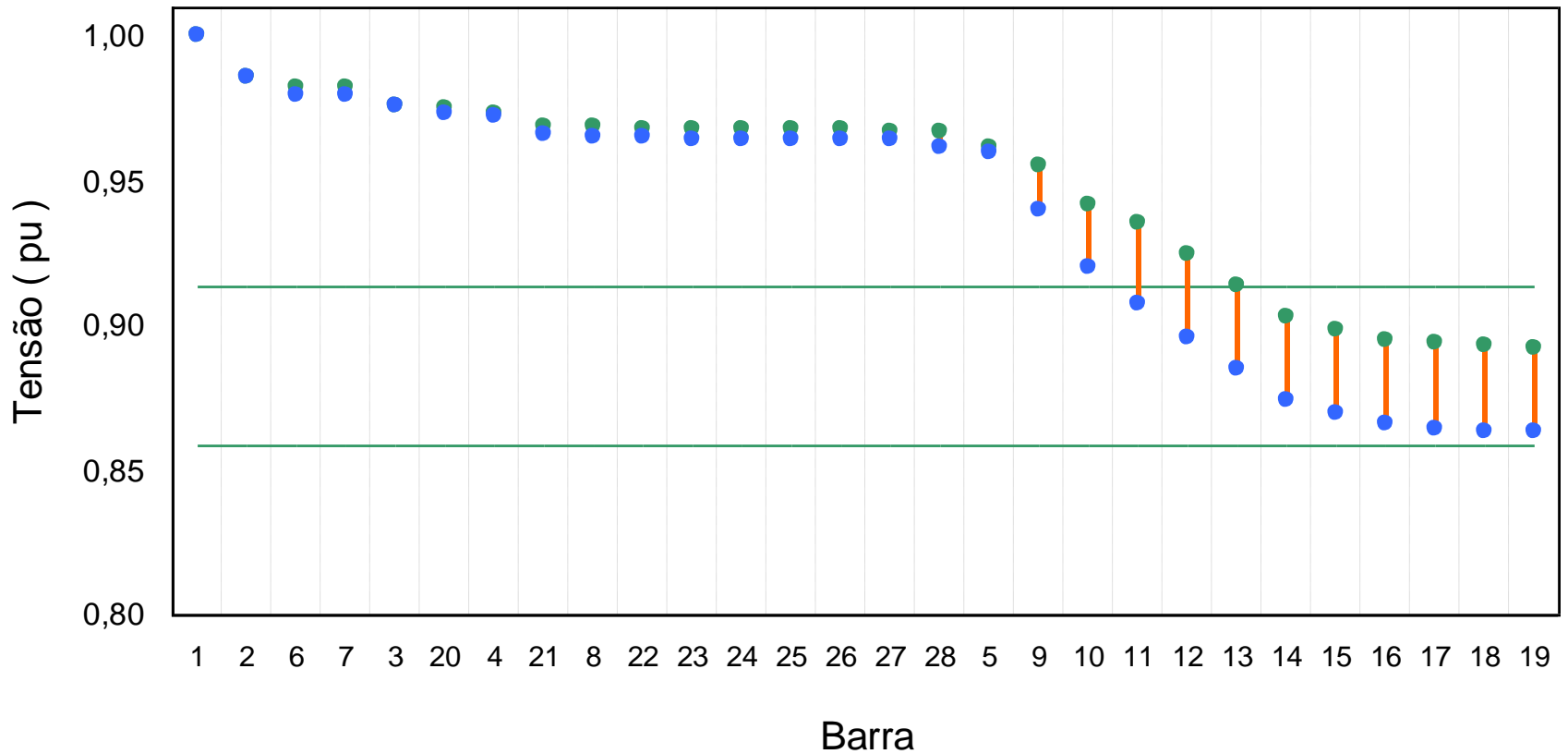
Caso 01
Capacitor conectado
na Barra 11



Caso 02
Capacitor conectado
na Barra 14

9. Soluções

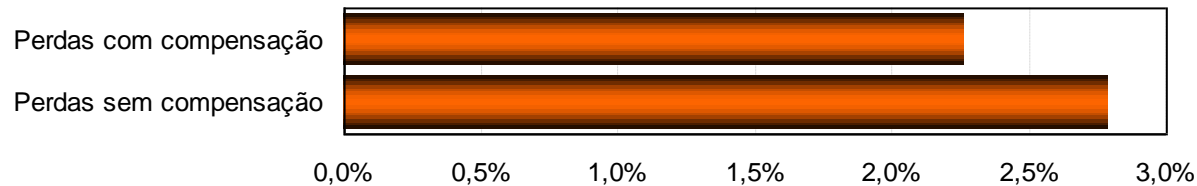
Utilização de Capacitores de Baixa Tensão



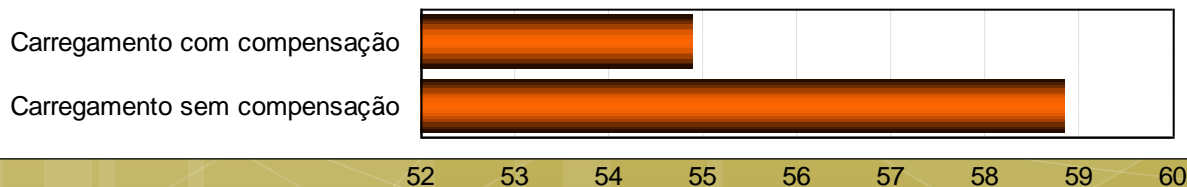
9. Soluções

Utilização de Capacitores de Baixa Tensão

PERDAS	(%)	kW	kWh / Mês	kWh / Ano
Perdas sem compensação	2,79%	1,360	979	11.751
Perdas com compensação	2,26%	1,102	793	9.519
Diferença das perdas	0,53%	0,258	186	2.232



Análise de Desempenho		kVA	kW	kVAr
Carregamento do Trafo	Antes	58,86	48,75	33,00
	Depois	54,89	48,35	25,98
Redução (%)		6,74%	0,82%	21,27%



9. Soluções

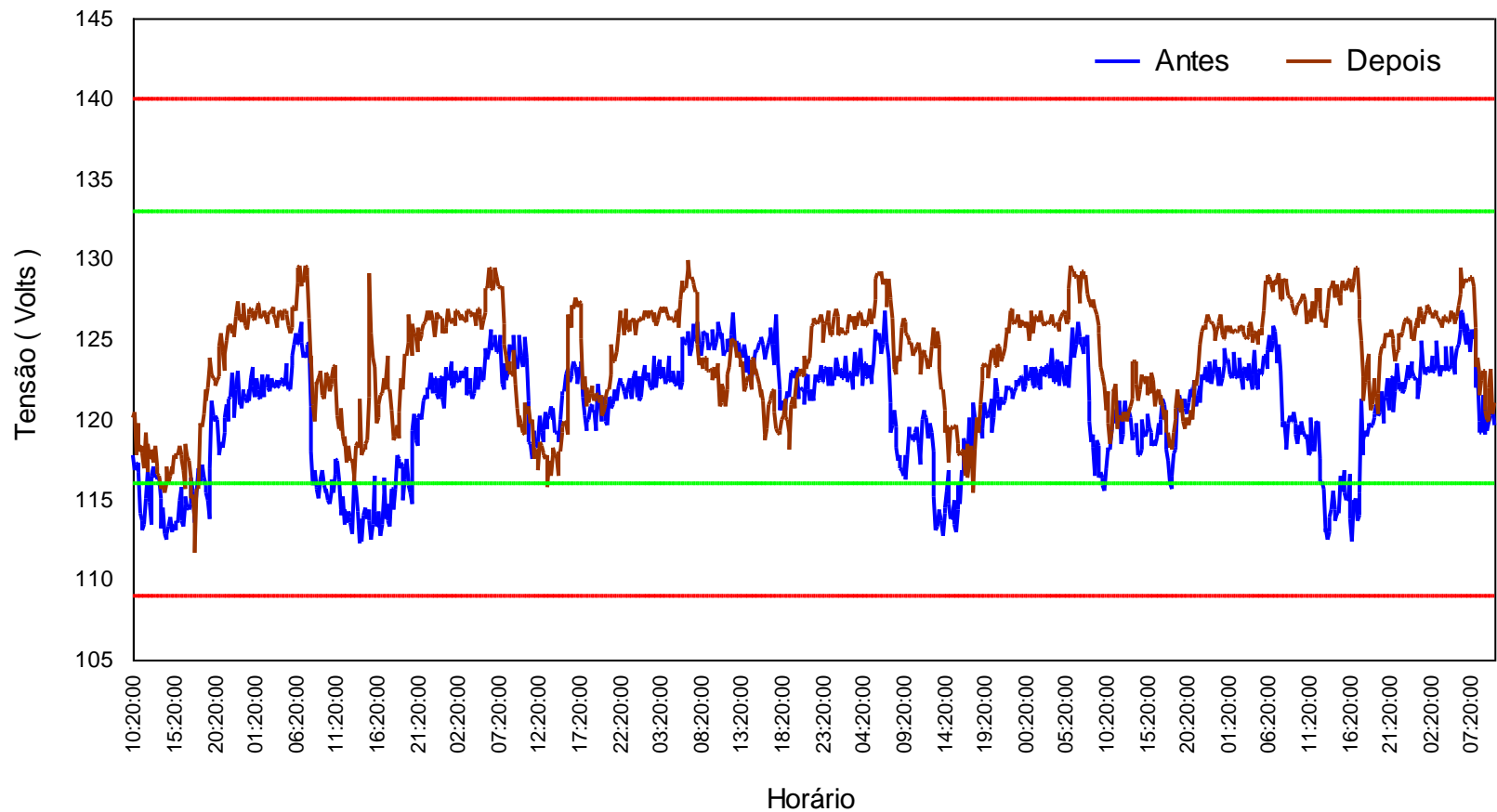
Utilização de Capacitores de Baixa Tensão

DRP antes e após a conexão do capacitor

	FASE A	FASE B	FASE C
DRP ANTES	7,2%	4,1%	12,0%
DRP DEPOIS	0,0%	0,0%	0,6%

9. Soluções

Utilização de Capacitores de Baixa Tensão



9. Soluções

Utilização de Capacitores de Baixa Tensão

