

Monografia sobre a Energia Reactiva

1

Índice

- 1. Monografia: Breve Descrição
 - 1.1. Definição de Energia Reactiva
 - 1.2. Inconvenientes da Energia Reactiva
 - 1.3. Classificação das fontes de compensação

2

- 2. SVC – Static Var Compensation
 - 2.1. Domínios de Aplicação
 - 2.2. Vantagens
 - 2.3. Caracterização Genérica
 - 2.4. Implementações
 - 2.5. SVC-Portátil (SVC-P)
 - 2.6. Exemplos de instalações com SVC
- 3. Relação entre o factor de potência e os harmónicos
 - 3.1. Factor de potência no caso em que as cargas são lineares
 - 3.2. Factor de potência no caso em que as cargas são não -lineares

3

1. Monografia: breve descrição

1.1. Definição de Energia Reactiva

- Energia resultante das cargas indutivas (tais como motores ou lâmpadas de descarga) ou capacitivas (tais como PC's) existentes nos circuitos eléctricos.
- Energia activa é contabilizada pelos contadores de energia activa. Energia reactiva é contabilizada por contadores de energia reactiva frequentemente existentes em instalações industriais

4

1.2. Inconvenientes da Energia Reactiva

- Inconvenientes para o Produtor de Energia
- Inconvenientes para o Transportador e Distribuidor de Energia
- Inconvenientes para o Consumidor

5

Para o Produtor

- Instalação de alternadores de maior potência, logo mais caros
- Diminuição do rendimento e aumento das perdas dos alternadores
- Instalação de Transformadores e aparelhagem de protecção, comando e manobra mais cara

6

Para o Transportador e Distribuidor

- Secção dos condutores das linhas e cabos mais elevada, logo os condutores são mais pesados, tornando as instalações mais caras
- Postes e isoladores de apoio das linhas aéreas com maiores dimensões, logo mais caros

7

Para o Transportador e Distribuidor (cont.)

- Transformadores de maior potência, logo mais caros
- Aparelhagem de protecção, comando e manobra mais cara
- Quedas de tensão e perdas por efeito de Joule nas linhas e cabos

8

Para o Utilizador

- Secções dos condutores mais elevadas
- Quedas de tensão e perdas mais elevadas
- Calibres superiores das aparelhagens de Protecção, Comando e Manobra
- Transformadores de maior potência (se estes existirem)

9

Penalizações

- Consumidores de MAT, AT, MT, BTE
 - Energia Reactiva consumida fora das horas de vazio, quando excede 40% da Energia Activa
 - Por vezes a Energia Reactiva fornecida à rede nas horas de vazio

10

1.3. Classificação das Fontes de Compensação

- Compensação Estática
- Compensação Dinâmica

11

Compensação Estática

Compensação feita com valores discretos e por isso permite que possa existir uma quantidade de energia reactiva a circular na rede.

12

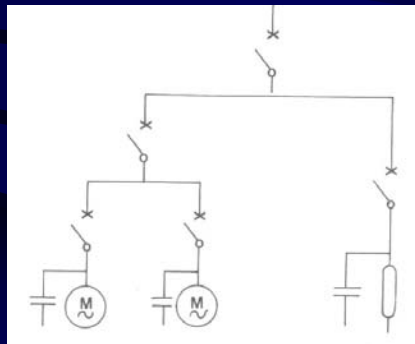
Técnicas de Compensação Estática

- Condensadores em Paralelo
- Compensação Trifásica por Condensadores
- Condensadores em Série
- Transformadores Esfasadores
- Linhas Abertas

13

Condensadores em Paralelo

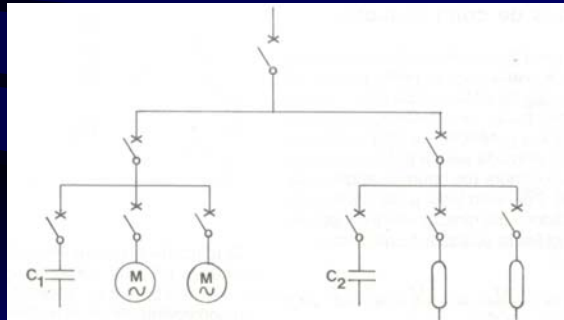
- Compensação Individual



14

Condensadores em Paralelo

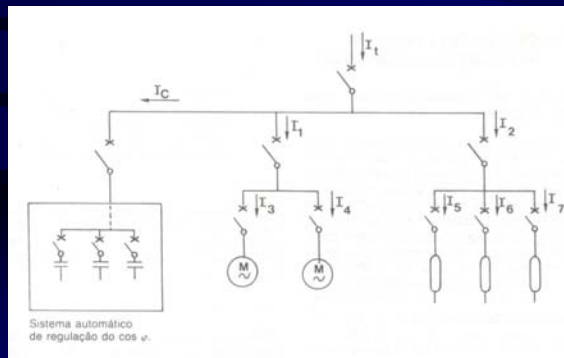
- Compensação por Grupos



15

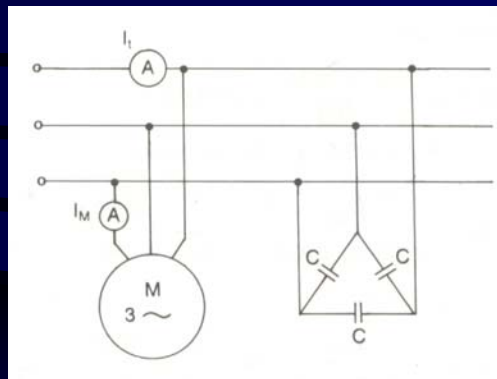
Condensadores em Paralelo

- Compensação Central ou Global



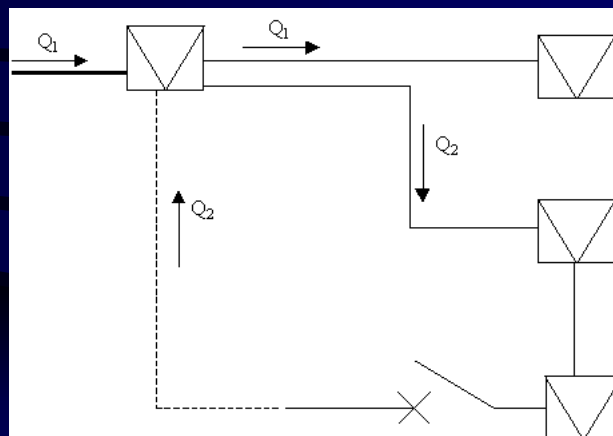
16

Compensação Trifásica por Condensadores



17

Linhas Abertas



18

Compensação Dinâmica

A compensação feita com um valor variável, consoante o valor de energia reactiva que circula na rede, após a compensação a energia reactiva circulante é nula.

Compensação em Tempo Real

19

Técnicas de Compensação Dinâmica

- Máquina Síncrona
- Compensador Síncrono Estático
- Compensador Unificado de Potência
- SVC – Static Var Compensation

20

Máquina Síncrona

Pode funcionar

- Gerador
- Motor
- Compensador

Síncrono

Utilizam-se em grandes instalações, quando a potência em jogo é elevada e se justifica o gasto necessário à aquisição da mesma.

21

2. SVC – Static Var Compensation

- Tecnologia recente
- Técnica de compensação dinâmica

22

2.1. Domínios de Aplicação

- Instalações Industriais
- Linhas de transmissão e distribuição de energia

23

2.2. Vantagens

- Relativamente às técnicas de compensação estática (baterias de condensadores):
 - compensação exacta em cada instante (controlo contínuo)
 - actua mais rapidamente

24

- Vantagens globais:
 - melhorar o controlo e a estabilidade da tensão
 - reduzir as perdas na transmissão
 - aumentar a capacidade de transmissão (e assim adiar a necessidade de mais linhas)
 - diminuir as oscilações de potência
 - diminuir o efeito de transitórios
 - diminuir o efeito de pequenas perturbações

25

2.3. Caracterização Genérica

- Absorve ou fornece energia reactiva
- Controlo por meio de tiristores
- Compensação de energia reactiva com o valor solicitado exacto

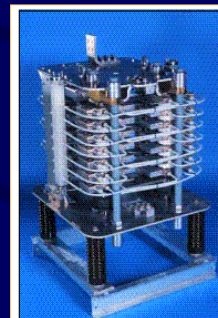
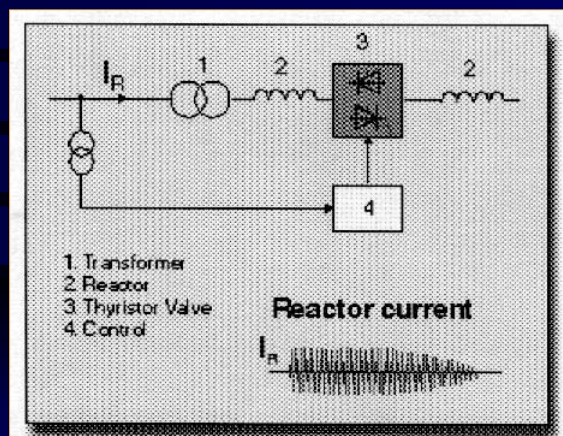
26

2.4. Implementações

- Indicam-se as da ABB (Asea Brown Boveri)
- Usadas no controlo de 3 fases (sistema simétrico) ou no controlo individual de cada fase

27

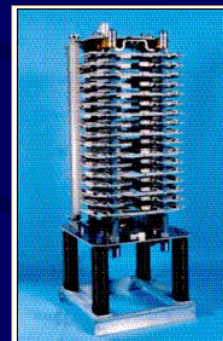
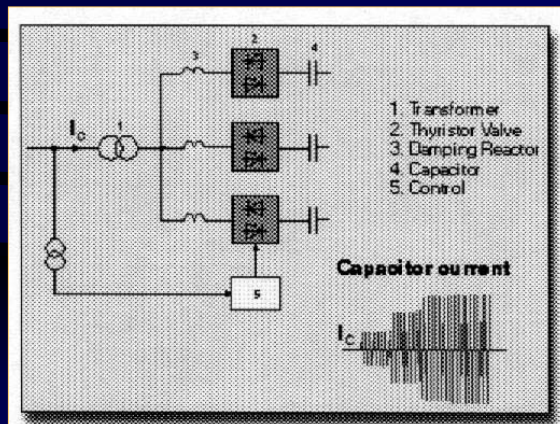
2.4.1. Indutância Controlada por Tiristores (TCR)



- As características de um sistema TCR são:
 - controlo contínuo
 - ausência de oscilações transitórias
 - poluição harmónica

29

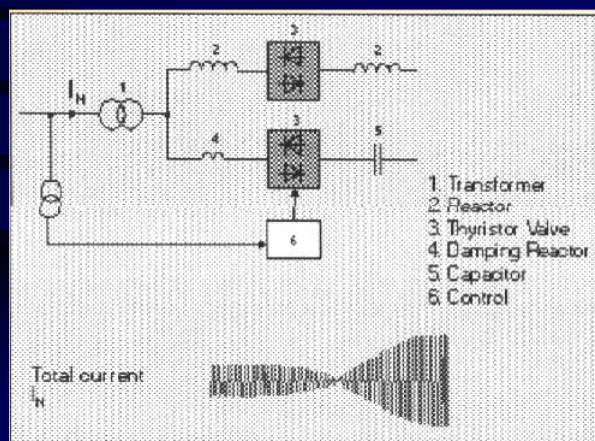
2.4.2. Condensador Controlado por Tiristores (TSC)



- As características de um sistema TSC são:
 - controlo por escalões ou contínuo
 - ausência de oscilações transitórias
 - ausência de poluição harmónica
 - perdas pequenas
 - redundância e flexibilidade

31

2.4.3. Condensador Controlado por Tiristores/Indutância Controlada por Tiristores (TSC/TCR)

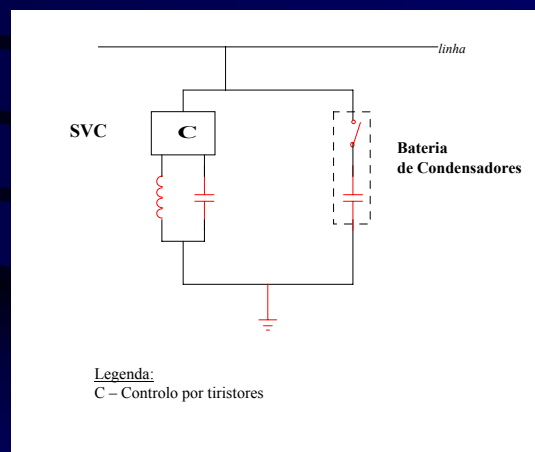


32

- Permite óptima performance durante longas perturbações do sistema
- As características da combinação TSC/TCR são:
 - controlo contínuo e flexível
 - ausência de oscilações transitórias
 - fraca poluição harmónica
 - baixas perdas
 - redundância
- Para linhas de transporte e distribuição é sempre a melhor solução!

33

2.4.4. Combinação com dispositivos de compensação clássicos



34

2.5. SVC-Portátil (SVC-P)

- Permite “transportar” a compensação dinâmica de um ponto da rede para outro
- Sistema modular. Módulos ligados por cabos e transportados por um “trailer” específico



35

2.5.1. Vantagens

- Satisfazer necessidades momentâneas do mercado (liberalização da produção de energia eléctrica, clientes sazonais)
- Modularidade facilita: instalação do sistema, divisão de tarefas
- Teste do sistema e do equipamento em oficina
- Implementação e transporte rápidos

36

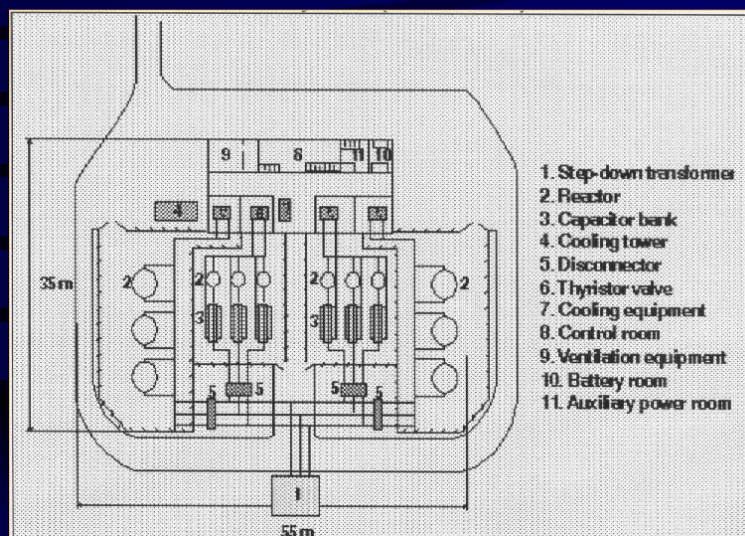
2.6. Exemplos de instalações com SVC

Projecto de um sistema SVC é feito:

- com ajuda de SW apropriado (determina localização ideal)
- atendendo às variações da carga da rede

37

Sistema de transporte e distribuição de energia



Layout de um SVC colocado numa subestação na Noruega. Potência do SVC: +/- 200 MVar.

38



39

Instalação Industrial

- Forno de arco (usado na fundição do aço) requer uma tensão de alimentação estável
- SVC permite estabilizar a tensão
- Benefícios:
 - redução do efeito de flicker por um factor de 1.5 – 2
 - aumenta em 15% a potência disponível do forno
 - prazo de retorno do investimento menor que 2 anos
- Resultado: diminuição do custo de produção por tonelada do aço

40

3. Relação entre o factor de potência e os harmónicos

O factor de potência é um conceito de uso corrente , mas será que é sempre aplicado correctamente?

41

3.1. Factor de potência no caso em que as cargas são lineares

- Tradicionalmente o factor de potência é calculado por:

$$fp_{\text{real}} = \frac{P_{\text{média}}}{S}$$

- Sendo as cargas lineares:

$$fp_{\text{real}} = fp_{\text{desf}} = \cos(\delta_1 - \theta_1)$$

42

Métodos de compensação da energia reactiva

- Dispositivos clássicos (baterias de condensadores por exemplo)

43

3.2. Factor de potência no caso em que as cargas são não-lineares

- Tensão e a corrente não são sinusóides perfeitas (contêm harmónicos)
- Harmónicos causados principalmente por cargas que possuem componentes de electrónica de potência

44

- O factor de potência é calculado por:

$$fp_{\text{real}} = fp_{\text{desf}} \times fp_{\text{dist}}$$

- em que o fp_{dist} é inversamente proporcional a THD_I :

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_{krms}^2}}{I_{lrms}} \times 100\%$$

45

- Neste tipo de cargas é possível que fp_{desf} seja alto mas que fp_{real} seja baixo devido ao facto de fp_{dist} poder ser alto:

Carga	fp_{desf}	THD_I	fp_{dist}	fp_{real}
Ventoinha de tecto	0.999	1.8	1.000	0.999
Frigorífico	0.875	13.4	0.991	0.867
Microondas	0.998	18.2	0.984	0.982
Aspirador	0.951	26.0	0.968	0.921
Lâmpada fluorescente de tecto	0.956*	39.5	0.930	0.889
Televisão	0.988*	121.0	0.637	0.629
PC e impressora	0.999*	140.0	0.581	0.580

* - Factor de potência capacitivo

Tabela1: Valores do factor de potência e de THD_I para algumas cargas monofásicas do tipo doméstico.

46

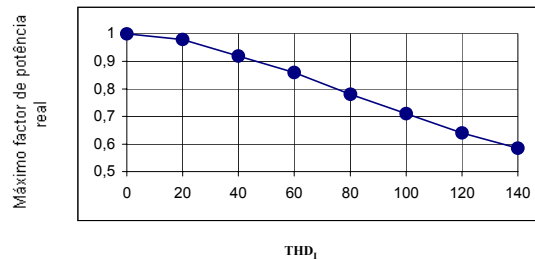
Método de compensação da energia reactiva

- Baterias de condensadores
- junto às baterias são colocados dispositivos de eliminação de harmónicos (filtros activos ou passivos ou um compensador activo de harmónicos)

47

3.2.1. Limite máximo de fp_{real}

- Limite máximo de fp_{real} é fp_{dist}
- Como fp_{dist} varia com THD_I é possível estabelecer um limite máximo de fp_{real} aceitável em função de THD_I :



48

- Necessário vigiar a poluição harmónica na rede para manter o factor de potência acima de um determinado nível!

49

4. Análise do Trânsito da Energia Reactiva na ESTV.

Viabilidade da Compensação

50

Índice

- 4.1. Objectivos
- 4.2. Medições
- 4.3. Tratamento dos Dados
- 4.4. Cálculo das Perdas
- 4.5. Cálculo do Custo Total das Perdas
- 4.6. Viabilidade da Compensação
- 4.7. Análise do Comportamento do Sistema Eléctrico do Edifício Pedagógico

51

4.1. Objectivos

- Medição do trânsito da energia reactiva no edifício pedagógico da ESTV e outras grandezas (potências activas, correntes, tensões e factores de potência)
- Tratamento dos dados:
 - Tratamento estatístico das grandezas medidas: soma, média e desvio padrão
 - Gráfico das grandezas medidas ao longo do dia
- Cálculo das perdas por efeito de Joule provocadas pelo trânsito da energia reactiva. Cálculo dos custos das perdas
- Análise da viabilidade da compensação localizada da energia reactiva

52

4.2. Medições

- Meios Utilizados
- Local das Medições
- Períodos de Medição
- Grandezas Medidas

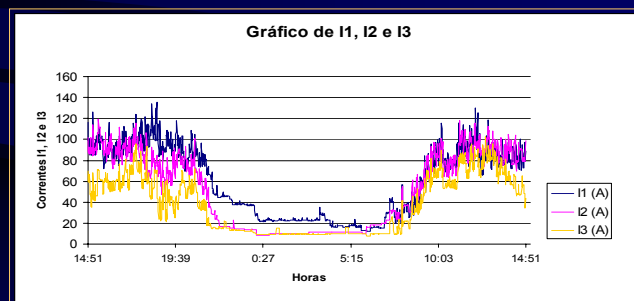
Grandezas Medidas		
Potências Reactivas		Potências Activas
Q1		P1
Q2		P2
Q3		P3
*Q+		*P+
Factores de Potência	Tensões	Correntes
PF1	U1	I1
PF2	U2	I2
PF3	U3	I3

53

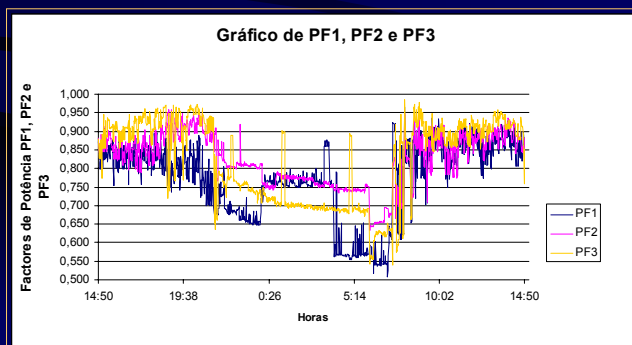
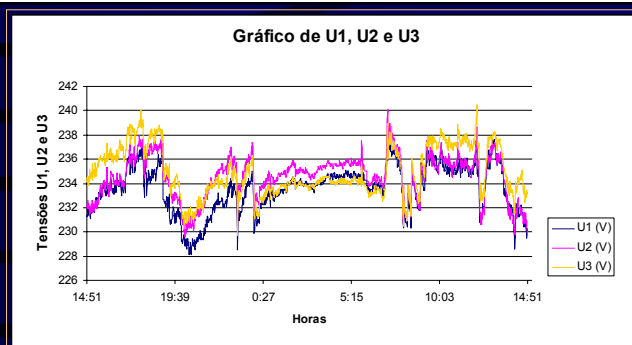
4.3. Tratamento dos Dados

Exemplo: Quadro Geral 1 – 2ª Feira

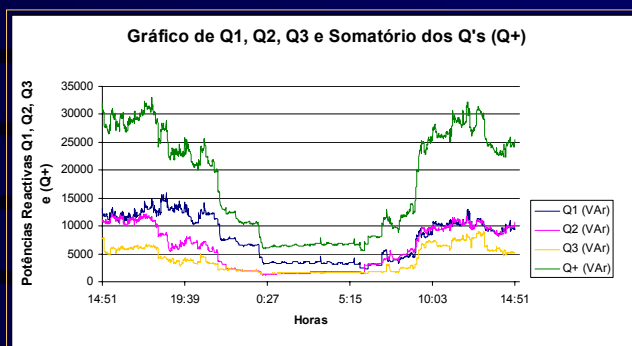
Gráficos:



54



55



56

Tratamento Estatístico

Foi efectuado o tratamento estatístico (soma, média, etc.) de algumas das grandezas medidas.

Os resultados obtidos, para o exemplo apresentado, foram os seguintes:

	U1	I1	U2	I2	U3	I3
Média	233,59	59,30	234,58	51,12	234,94	36,93
Desv. Padrão	1,93	33,04	1,79	35,34	1,99	26,32

	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)
Somatório	1,13E+07	8,62E+06	5,53E+06	1,62E+07	1,48E+07	1,11E+07
Média	7,88E+03	5,99E+03	3,84E+03	1,13E+04	1,03E+04	7,71E+03

57

Valores Calculados	Fase1	Fase2	Fase3
Tang (média)	0,70	0,58	0,50
cos (média)	0,82	0,86	0,89

Valores Medidos	Fase1	Fase2	Fase3
cos (média)	0,77	0,82	0,82

De seguida apresentam-se as potências reactivas e activas trifásicas, obtidas da tabela das potências por fase:

	Q (Var)	P (W)
Somatório	2,55E+07	4,21E+07
Média	1,77E+04	2,93E+04

58

4.4. Cálculo das Perdas

Este cálculo foi feito desde o PT da Escola até ao Quadro Geral do edifício pedagógico (onde se encontram os Quadros Gerais 1, 2 e de Emergência).

Características dos cabos que chegam a cada um dos quadros gerais:

Quadro	Tipo de Cabo	Secção (mm ²)	Nº de Cabos por fase	Comp. (km)	Z (Ω /km)	R dos cabos (Ω)
Q1	A1VV	150	3	0,2	0,124	0,008
Q2	A1VV	185	4	0,2	0,0991	0,005
E.	A1VV	185	1	0,2	0,0991	0,021

59

Perdas no Quadro Geral 1 2ª Feira

Perdas por Fase:

Fase	Perdas totais (W)	Perdas devido á En. Activa (W)	Perdas devido á En. Reactiva (W)
1	29,07	17,25	11,82
2	21,60	14,59	7,02
3	11,27	7,56	3,72

Perdas nas três Fases:

Perdas Totais (W)	61,95	Perdas devido á En. Reactiva (W)	22,553
Perdas Totais (Kwh)	1,49	Perdas devido á En. Reactiva (kWh)	0,541

60

4.5. Cálculo do Custo Total das Perdas

Observações:

- Perdas das Terças, Quintas e Domingo iguais às de Segunda, Quarta e Sábado;
- Perdas de Inverno iguais às de Verão;
- Preço da energia utilizado igual ao das horas de cheia (9\$81);

61

Método de Cálculo

Perdas numa semana × 52 Semanas × Preço da energia = Custo anual das perdas

– Custo das perdas para o Quadro Geral 1

$$3,72 \times 52 \times 9,81 = 1888 \text{ esc./Ano}$$

– Custo das perdas para o Quadro Geral 2

$$1,634 \times 52 \times 9,81 = 833 \text{ esc./Ano}$$

– Custo das perdas para o Quadro Geral 2

$$3,207 \times 52 \times 9,81 = 1636 \text{ esc./Ano}$$

– Custo total das perdas

$$1888 + 833 + 1636 = 4357 \text{ esc./Ano}$$

62

4.6. Viabilidade da Compensação

Como observado, as **perdas por efeito de Joule devidas ao trânsito de energia reactiva são baixas.**

Assim, o **custo financeiro dessas perdas**, acarretado pela instituição, é **bastante baixo**, logo é **economicamente inviável a instalação de uma bateria de condensadores** (em cada um dos quadros) para compensação central das perdas provocadas pelo trânsito de energia reactiva.

63

Mas porque é que as perdas são tão reduzidas?

1. Secção dos cabos bastante elevadas e logo impedância muito baixa;
2. Corrente que circula nos cabos é bastante baixa em relação à admissível.

Exemplo do sobredimensionamento:

Q1- Quarta-Feira – Fase I

	Tipo de Cabo	Secção (mm ²)	I máx. num cabo (A)	I máxima admissível (A)	% da carga máx. no cabo
Q1	A1VV	150	135,9	353	38,35%

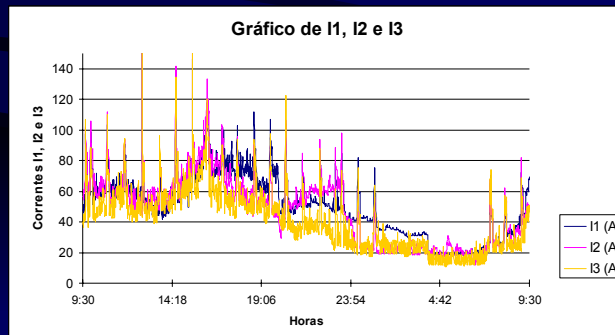
64

4.7. Análise do Comportamento do Sistema Eléctrico do Edifício Pedagógico

1. Desequilíbrio de fases

Tensão – as 3 fases estão bastante equilibradas

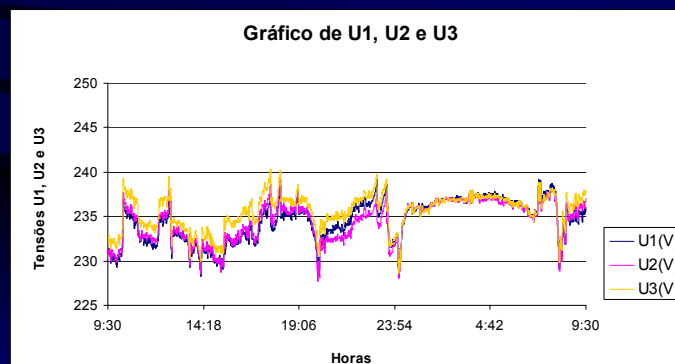
Corrente – de um modo geral estão equilibradas



2. Qualidade da Tensão

Por lei a EDP – Distribuição garante entregar a Tensão ao cliente, para zonas urbanas que é o caso, dentro dos limites $\pm 5\%$ de 230V. Os valores são: 241,5V e 218,5V.

Observados os gráficos, a tensão encontra-se dentro desses limites em todos os gráficos e a qualquer hora do dia.





Fim

67