Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Análise da Qualidade de Energia Eléctrica em Instalações de Grande Complexidade

Tiago Daniel Moreno Fernandes

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. António Carlos Sepúlveda Machado e Moura
Co-orientador: Prof. Dr. Jose Manuel Ribeiro Baptista

18-07-2012

© Tiago Daniel Moreno Fernandes, 2012

U.PORTO
FEUP

MIEEC - MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES | **2011/2012**

A Dissertação intitulada

"Análise da Qualidade da Energia Elétrica em Instalações de Grande Complexidade"

foi aprovada em provas realizadas em 18-07-2012

o júri

Presidente **Professor Doutor José Eduardo Roque Neves dos Santos**
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Professor Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão
Professor Auxiliar Departamento de Engenharias da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Professor Doutor José Manuel Ribeiro Baptista
Professor Auxiliar do Escola de Ciências e Tecnologia - UTAD

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.

Tiago Daniel Moreno Fernandes

Autor - Tiago Daniel Moreno Fernandes

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

“Não há nenhum segredo para o sucesso.
É o resultado de preparação, trabalho
duro e aprender com o fracasso.”
(Gen. Colin L. Powell)

Resumo

Este trabalho tem como objectivo a análise e resolução de problemas que actualmente surgem nas instalações e concretamente num edifício de grande complexidade.

Foi efectuado um estudo, recorrendo a bibliografia e trabalhos semelhantes existentes, dos problemas que costumam surgir nas instalações, suas causas e forma como se poderá efectuar a sua mitigação/eliminação.

Desta forma, foi efectuado o levantamento dos equipamentos existentes na instalação e após este levantamento, foram definidos os locais onde se colocou o equipamento para analisar o comportamento da rede e seus equipamentos. A análise dos dados recolhidos foi efectuada através da aplicação informática do aparelho utilizado na recolha, sendo considerados diversos critérios decorrentes da legislação e normas existentes.

Com este trabalho conseguiu-se identificar quais são os principais equipamentos poluidores da instalação e onde se poderá intervir de forma a reduzir custos e anomalias, tendo em conta o investimento necessário.

Abstract

The aim of this work is to analyze and solve problems that usually appear in the facilities and specifically in a building of great complexity.

It was made a study, based on existing literature and similar works, of the problems that usually arise on the premises, its causes and how we can make the mitigation/elimination.

Thus, we was conducted a survey of existing equipment in the installation and after this survey we defined the places where we put equipment to analyze the behavior of the network and of its equipment. The analysis of data was based in the computer software under the legislation and standards existing.

With this work we were able to identify which are the main polluters of the facilities and equipment, where we can intervene to reduce cost and anomalies, taking into account the investment needed.

Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem a colaboração de várias pessoas que nas diversas fases me prestaram a sua compreensão e solidariedade.Com o receio de que alguém não seja mencionado, deixo desde já os meus agradecimentos a todos os que me ajudaram directa ou indirectamente neste longo, árduo e gratificante trabalho.

Ao Professor Dr. António Carlos Sepúlveda Machado e Moura, orientador deste trabalho, pela oportunidade de execução, pela sua simpatia, disponibilidade e apoio na realização do mesmo.

Ao Professor Dr. José Manuel Ribeiro Baptista, co-orientador, pela sua enorme disponibilidade, pela capacidade de motivação e orientação para o objectivo final e também pela sua capacidade de apoio no enriquecimento do conteúdo do mesmo.

Ao Engenheiro Fernando Ramos, pela oportunidade de poder realizar o trabalho na empresa e pelo apoio prestado na realização do mesmo.

Aos meus pais, pela ajuda e apoio que sempre demonstraram ao longo das diversas fases da minha formação.

Finalmente, à minha esposa pela forma paciente e compreensiva que sempre demonstrou ao longo deste período, possibilitando a força e ânimo necessários à realização do mesmo.

A todos, o meu muito obrigado!

Índice

Resumo ..... **v**

Abstract ..... **vii**

Agradecimentos ..... **ix**

Índice ..... **xi**

Lista de figuras ..... **xvi**

Lista de tabelas ..... **xix**

Abreviaturas e Símbolos ..... **xxii**

Capítulo 1 ..... **1**

Introdução **1**

1.1. Contexto e justificação do trabalho 1

1.2. Objectivos 2

1.3. Descrição geral dos restantes capítulos da tese 2

Capítulo 2 ..... **5**

Qualidade de energia **5**

2.1. Desequilíbrio de tensão 6

2.1.1. Principais problemas 7

2.1.2. Correcção dos problemas 9

2.2. Cavas (ocos) de tensão 9

2.2.1. Principais problemas 10

2.2.2. Correcção dos problemas 12

2.3. Variações rápidas e cíclicas de tensão (efeito “flicker”) 12

2.3.1. Principais problemas 13
2.3.2. Correcção dos problemas 15
2.4. Oscilações e variações de frequência 15
2.4.1. Principais problemas 15
2.4.2. Correcção dos problemas 17
2.5. Sobretensões 17
2.5.1. Principais problemas 18
2.5.2. Correcção dos problemas 19
2.6. Distorção de onda de tensão decorrente da presença de harmónicos 19
2.7. A energia reactiva e o factor de potência 20
2.7.1. Factor de potência 22
2.7.2. Principais problemas 23
2.7.3. Correcção dos problemas 23
2.7.4. Cálculo de uma bateria 26
Capítulo 3 27
Harmónicos 27
3.1. Caracterização dos sinais de harmónicos 28
3.2. Espectro harmónico 29
3.3. Taxa de distorção Harmónica (THD) 29
3.4. Factor de Potência 30
3.5. Factor de Pico (crista) 31
3.6. Cargas geradoras de harmónicos 32
3.7. Efeitos e consequências dos Harmónicos 33
3.7.1. Aquecimento dos condutores eléctricos 34
3.7.2. Sobre-aquecimento dos condutores de neutro 34
3.7.3. Perturbações das redes de comunicações 34
3.7.4. Tensão elevada entre o neutro e a terra 35
3.7.5. Aumento da queda de tensão e redução do factor de potência 35

3.7.6. Vibrações e acoplamento 35

3.7.7. Ressonância dos condensadores de compensação de energia reactiva 35

3.7.8. Disparos nos dispositivos de protecção 35

3.7.9. Sobreaquecimentos nos enrolamentos 36

3.7.10. Aumento das perdas (nos condutores, nas máquinas assincronas, nos transformadores) 36

3.8. O impacto económico resultante da presença de harmónicos 37

3.9. Como lidar com a presença de harmónicos 37

3.10. Filtros de harmónicos 38

3.10.1. Filtro Passivo(LC) 39

3.10.2. Filtros Activos 41

3.10.2.1. Filtro activo paralelo 42

3.10.2.1.1.Filtro activo paralelo com inversor de tensão e entrada em tensão 43

3.10.2.1.2.Filtro activo paralelo com inversor de corrente e entrada em tensão 43

3.10.2.1.3.Filtro activo paralelo com inversor de tensão e entrada em corrente 44

3.10.2.1.4.Filtro activo paralelo com inversor de corrente e entrada em corrente 45

3.10.2.2. Filtro activo série 45

3.10.2.2.1.Filtro activo série com inversor de tensão e entrada em tensão 46

3.10.2.2.2.Filtro activo série com inversor de corrente e entrada em tensão 47

3.10.2.2.3.Filtro activo série com inversor de tensão e entrada em corrente 47

3.10.2.2.4.Filtro activo série com inversor de corrente e entrada em corrente 48

3.10.3. Filtro activo híbrido 49

3.10.4. Filtro activo universal 49

3.10.5. Transformadores de separação ou isolamento 50

3.10.5.1. Transformadores de separação/isolamento para o 3º harmónico e seus múltiplos 50

3.10.5.2. Transformador de separação/isolamento para o 5º e 7º harmónicos e seus múltiplos 51

Capítulo 4 53

Auditorias energéticas e Descrição da Instalação **53**

4.1. Objectivos de uma auditoria energética 55

4.2. O Processo de uma auditoria energética 55

4.2.1. Planeamento e preparação da auditoria 55

4.2.2. Trabalho de campo 55

4.2.3. Análise e tratamento da informação 56

4.2.4. Elaboração de relatório 56

4.3. Descrição da instalação 56

4.3.1. Electricidade 57

Capítulo 5 ..... **73**

Apresentação dos Resultados **73**

5.1. Critérios de análise dos dados recolhidos 73

5.1.1. Critério 1 - Valor máximo da taxa de distorção harmónica de tensão (THDV) 73

5.1.2. Critério 2 - Valor máximo de distorção harmónica de Corrente (THDI) e máximo valor para determinada ordem de harmónicos de Corrente 74

5.1.3. Critério 3 - Valor máximo dos harmónicos de tensão 75

5.1.4. Critério 4 - Compensação de energia reactiva 75

5.1.5. Critério 5 - Instalação do equipamento de análise 76

5.2. Análise dos dados recolhidos 77

5.2.1. QGBT- 2 Transformadores ligados 77

5.2.2. QGBT- 1 Transformador ligado 79

5.2.3. Quadros parciais 82

5.2.3.1. QCoz 82

5.2.3.2. QDcenter (UPS) 84

5.2.3.3. QDcenter 85

5.2.3.4. QEAC B3.1 87

5.2.3.5. QRR1 88

5.2.3.6. QSCont 90

5.2.3.6.1. QSCont (14-04-2012) 92

5.2.3.7. QSD 93

5.2.3.7.1. QSD (13-04-2012) 95

5.2.3.7.2. QSD (15-04-2012) 96

5.2.3.7.3. QSD (19-04-2012) 98

5.2.3.8. UCI0.2 99

5.2.3.9. UCI1.1 101

5.3. Dimensionamentos 103

5.3.1. Dimensionamento técnico 103

5.3.1.1. Dimensionamento de filtros tendo em conta a corrente instalada no quadro 104

5.3.1.2. Dimensionamento de filtros tendo em conta a corrente medida 105

5.3.2. Dimensionamento económico 105

5.3.2.1. Dimensionamento económico de filtros tendo em conta a corrente instalada no quadro 106

5.3.2.2. Dimensionamento económico de filtros tendo em conta a corrente medida no quadro 106

Capítulo 6 107

Conclusão 107

6.1. Trabalhos futuros 108

Referências 109

Anexo 113

Software de análise (Toplink): 115

Certificado energético 119

Lista de figuras

Figura 2.1 – Sistemas básicos de tensões [3] 9

Figura 2.2 – Exemplo de uma cava de tensão [3] 10

Figura 2.3 - Cálculo aproximado da tensão residual de defeito numa rede radial [2] 11

Figura 2.4 – Exemplo de flutuações de tensão [3] 13

Figura 2.5 – Curva de limite de "flicker" em função da frequência [2] 15

Figura 2.6 – Exemplo da variação de frequência de tensão ao longo do tempo [3] 16

Figura 2.7 – Diagrama vectorial de uma tensão (V) e uma corrente (I) desfasadas de (-φ) [5] 22

Figura 2.8 – Triângulo de potências [6] 22

Figura 2.9 – Compensação fixa de um motor [6] 25

Figura 2.10 – Esquema de uma bateria de condensadores automática [6] 26

Figura 3.1 – Deformação da onda de corrente [7] 27

Figura 3.2 – Exemplo de um espectro harmónico [3] 29

Figura 3.3 – Variação de FP/cosϕ em função da THD_i [3] 31

Figura 3.4 – Forma de onda de uma carga linear [3] 32

Figura 3.5 – Forma de onda de uma carga não-linear [3] 33

Figura 3.6 – Sistema sem qualquer compensação [9] 39

Figura 3.7 – Filtro passivo LC não compensado [3] 40

Figura 3.8 – Filtro passivo LC compensado [3] 40

Figura 3.9 – Filtro activo paralelo [10] 42

Figura 3.10 – Principio de funcionamento filtro activo paralelo [9] 42

Figura 3.11 – Filtro activo paralelo com inversor de tensão e entrada em tensão [10] 43

Figura 3.12 – Filtro activo paralelo com inversor de corrente e entrada em tensão [10] 44

Figura 3.13 – Filtro activo paralelo com inversor de tensão e entrada em corrente [10] 44

Figura 3.14 – Filtro activo paralelo com inversor de corrente e entrada em corrente [10] 45

Figura 3.15 –Filtro activo série [10] 45

Figura 3.16 – Principio de funcionamento filtro activo série [9] 46

Figura 3.17 – Filtro activo série com inversor de tensão e entrada em tensão [10] 47

Figura 3.18 – Filtro activo série com inversor de corrente e entrada em tensão [10] 47

Figura 3.19 – Filtro activo série com inversor de tensão e entrada em corrente [10] 48

Figura 3.20 – Filtro activo série com inversor de corrente e entrada em corrente [10] 48

Figura 3.21 – Filtro activo híbrido [10] 49

Figura 3.22 – Transformador de separação/isolamento na eliminação do 3º harmónico e múltiplos [3] 51

Figura 3.23 – Transformador de separação/isolamento na eliminação do 5º, 7º harmónicos e múltiplos [3] 52

Figura 4.1 – Exemplo de certificado energético [15] 54

Figura 4.2 – Diagrama de alimentação e distribuição de energia [17] 57

Figura 5.1 – Modo de instalação do equipamento de análise [18] 76

Figura 5.2 – Curva de rendimento de um transformador em função da carga [19] 78

Figura 5.3 – Taxa de distorção harmónica medida na instalação (QGBT) 81

Figura 5.4 – Taxa de distorção harmónica medida no QCoz 83

Figura 5.5 – Taxa de distorção harmónica medida no QDcenter (UPS) 84

Figura 5.6 – Taxa de distorção harmónica medida no QDcenter 86

Figura 5.7 – Taxa de distorção harmónica medida no QEAC B3.1 88

Figura 5.8 – Taxa de distorção harmónica medida no QRR1 89

Figura 5.9 – Taxa de distorção harmónica medida no QSCont 91

Figura 5.10 – Taxa de distorção harmónica medida no QSCont (14-04-2012) 92

Figura 5.11 – Taxa de distorção harmónica medida no QSD 94

Figura 5.12 – Taxa de distorção harmónica medida no QSD (13-04-2012) 95

Figura 5.13 – Taxa de distorção harmónica medida no QSD (15-04-2012) 97

Figura 5.14 – Taxa de distorção harmónica medida no QSD (19-04-2012) 98

Figura 5.15 – Taxa de distorção harmónica medida na UCI 0.2 100

Figura 5.16 – Taxa de distorção harmónica medida na UCI 1.1 102

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Classificação das cavas de tensão [1] 12

Tabela 2.2 – Classificação das sobretensões [1] 19

Tabela 2.3 – Valores limite e respectivo factor multiplicador de facturação de energia reactiva[4] 20

Tabela 2.4 – Correspondência entre o factor de potência e a tangente 23

Tabela 3.1 – Resumo da caracterização dos sinais harmónicos [3][7] 28

Tabela 4.1 – Quadros eléctricos (piso -3 ao -1) 61

Tabela 4.2 – Quadros eléctricos (piso 0 ao 9) 62

Tabela 4.3 – Características da Iluminação 63

Tabela 4.4 – UTA 64

Tabela 4.5 – UCA 64

Tabela 4.6 – UEA 65

Tabela 4.7 – UVC 65

Tabela 4.8 – MVC 66

Tabela 4.9 – Unidades do tipo split 66

Tabela 4.10 – Ventiladores de desenfumagem 67

Tabela 4.11 – Ventiladores de insuflação 67

Tabela 4.12 – Ventiladores de extracção 68

Tabela 4.13 – Ventiladores de pressurização 68

Tabela 4.14 – Humidificadores de ar 69

Tabela 4.15 – Variadores de frequência 69

Tabela 4.16 – Bombas circuladoras 70

Tabela 4.17 – Bombas de água de consumo 70

Tabela 4.18 – Bombas de águas pluviais 70

Tabela 4.19 – Bombas de águas residuais 70

Tabela 4.20 – Bombas de 2 termoacumuladores 71

Tabela 4.21 – Bombas da central de bombagem de incêndio 71

Tabela 5.1 – Valor máximo da taxa de distorção harmónica de tensão [8] 74

Tabela 5.2 – Valor máximo da taxa de distorção harmónica de corrente e máximo valor das correntes harmónicas individuais [8] 74

Tabela 5.3 – Valores das tensões harmónicas individuais [1] 75

Tabela 5.4 – Intervalos de facturação energia reactiva [4] 76

Tabela 5.5 – Perdas no ferro de um transformador [19] 78

Tabela 5.6 – Factor de potência da instalação 79

Tabela 5.7 – Potência activa total 79

Tabela 5.8 – Bateria de condensadores necessária 80

Tabela 5.9 – Taxa de distorção máxima harmónica da instalação 80

Tabela 5.10 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente da instalação (QGBT) 81

Tabela 5.11 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QCoz 82

Tabela 5.12 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QCoz 83

Tabela 5.13 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QDcenter (UPS) 84

Tabela 5.14 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QDcenter (UPS) 85

Tabela 5.15 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QDcenter 85

Tabela 5.16 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QDcenter 86

Tabela 5.17 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QEAC B3.1 87

Tabela 5.18 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QEAC B3.1 88

Tabela 5.19 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QRR1 89

Tabela 5.20 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QRR1 90

Tabela 5.21 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSCont 90

Tabela 5.22 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSCont 91

Tabela 5.23 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSCont (14-04-2012) 92

Tabela 5.24 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSCont (14-04-2012) 93

Tabela 5.25 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSD 93

Tabela 5.26 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSD 94

Tabela 5.27 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSD (13-04-2012) 95

Tabela 5.28 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSD (13-04-2012) 96

Tabela 5.29 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSD (15-04-2012) 96

Tabela 5.30 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSD (15-04-2012) 97

Tabela 5.31 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSD (19-04-2012) 98

Tabela 5.32 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSD (19-04-2012) 99

Tabela 5.33 – Taxa de distorção harmónica máxima medida na UCI 0.2 100

Tabela 5.34 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos na UCI 0.2 101

Tabela 5.35 – Taxa de distorção harmónica máxima medida na UCI 1.1 101

Tabela 5.36 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos na UCI 1.1 102

Tabela 5.37 – Dimensionamento de filtros com a corrente instalada 104

Tabela 5.38 – Dimensionamento de filtros com a corrente medida 105

Tabela 5.39 – Dimensionamento económico de filtros com a corrente instalada 106

Tabela 5.40 – Dimensionamento económico de filtros com a corrente medida 106

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

DL	Decreto-lei
IEEE	Instituto de Engenheiros Electrotécnicos e electrónicos
RSECE	Regulamento dos sistemas energéticos e de climatização
SGCIE	Sistema de gestão dos consumos intensivos de energia
THD	Taxa de distorção harmónica
THDI	Taxa de distorção harmónica de corrente
THDV	Taxa de distorção harmónica de tensão

Lista de símbolos

ω	Frequência angular
φ	Ângulo

Capítulo 1

Introdução

1.1. Contexto e justificação do trabalho

Este trabalho foi efectuado no âmbito da dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Com a constante inovação do mundo da electrónica surgiram diversos problemas decorrentes da tipologia de equipamentos que são utilizados no seu fabrico. Este problema tem vindo a afectar a qualidade de energia das instalações. Neste sentido torna-se cada vez mais importante, efectuar estudos e recolhas de dados para análise, de forma a tornar as instalações cada vez mais eficientes, com baixos consumos energéticos e com uma taxa reduzida de avarias.

A escolha do tema deste trabalho prende-se com o facto de, no edifício em análise, haver problemas de qualidade de energia, pelo facto de este ser um edifício composto por diversos equipamentos de grande complexidade e também por ter uma estrutura e funcionamento complexo face a outros.

As motivações que levaram à realização deste trabalho prendem-se com o facto de ser uma área que ultimamente tem surgido no mercado como sendo cada vez mais relevante para o funcionamento dos edifícios e também tendo em conta a legislação que tem alterado o posicionamento da Engenharia e do mercado. As principais razões que motivaram a realização deste trabalho foi o facto de ter terminado a minha licenciatura em 2006 e ao longo destes anos ter encontrado diversos problemas deste género e também a sua vertente prática e a perspectiva de se iniciar um estudo técnico/económico que poderá ter continuidade.

Como ponto de partida para este trabalho, teve-se em consideração os problemas visíveis na instalação:

- Correntes de neutro elevadas;
- Grandes consumos energéticos;
- Flutuação da intensidade luminosa em determinadas horas e mediante determinadas ocupações/utilizações do edifício;
- Pagamento de energia reactiva;
- Disparo na iluminação com regulação de tensão.

Com base nestes problemas foram elaborados os objectivos e o planeamento da recolha de elementos para análise e respectivos locais, junto do proprietário.

1.2. Objectivos

Este trabalho visa a análise e resolução de problemas que surgem nas instalações e particularmente na instalação em causa. Neste sentido foram definidos três grandes objectivos que integram o que foi referido:

- Efectuar o levantamento e analisar os problemas que têm surgido nos equipamentos existentes;
- Analisar os equipamentos poluidores internos e propor soluções para minimização/eliminação desses efeitos;
- Efectuar a compensação de energia reactiva à luz da nova legislação.

Quanto ao primeiro objectivo, prende-se com o facto de perceber e caracterizar a instalação e por sua vez conseguir verificar a origem dos problemas existentes na instalação.

O segundo objectivo tem por base a necessidade de efectuar uma análise da instalação com equipamentos adequados que por sua vez permitirá definir as causas e as medidas para a mitigação/eliminação dos problemas.

Quanto ao terceiro objectivo, está relacionado com o facto de ter havido alteração na legislação aplicável à facturação da energia reactiva, que por sua vez leva a que sejam analisadas as instalações existentes, tendo em conta a necessidade ou não de alterar/corrigir os equipamentos de compensação de energia reactiva existentes.

1.3. Descrição geral dos restantes capítulos da dissertação

Este trabalho é composto por 6 capítulos, sendo que o 1º é a Introdução e os seguintes irão ser brevemente descritos.

No capítulo 2, faz-se uma introdução à qualidade de energia, referem-se as perturbações que provocam interferências nas instalações, descrevem-se as causas, efeitos e resolução destas perturbações, tendo por base a legislação em vigor. Neste capítulo, tendo em conta que um dos objectivos é a compensação da energia reactiva, desenvolve-se o conceito de energia reactiva, factor de potência e também se tem em consideração as alterações em termos de facturação da mesma. É também neste capítulo que se efectua uma análise em termos dos problemas causados e das formas de correcção.

No capítulo 3 efectua-se uma análise teórica dos problemas dos harmónicos, forma como se deve lidar com estes problemas, tendo por base as suas consequências e a forma de as corrigir. Neste capítulo, devido ao facto do problema dos harmónicos ser o principal problema da instalação em estudo, efectua-se um estudo sobre a forma de mitigação dos mesmos, sendo então efectuada a descrição das tipologias dos filtros.

As auditorias energéticas fazem, hoje em dia, parte de um processo de análise do comportamento energético dos edifícios. Tendo em consideração este aspecto e para criar uma metodologia de análise no trabalho em causa foi estudado, no capítulo 4, a forma em como

decorre e é preparada uma auditoria energética. Neste capítulo efectua-se também a descrição da instalação em análise.

No capítulo 5 são definidos os critérios que serão utilizados na análise dos resultados obtidos, tendo por base a legislação e normas existentes e é efectuada toda a parte de análise, descrição dos resultados obtidos, algumas soluções e dimensionamentos técnico/económicos para os problemas registados. É neste capítulo que se identificam os reais problemas da instalação e se pode concluir quais as melhores formas de os corrigir.

Por último no capítulo 6 é efectuada uma análise geral dos resultados obtidos, efectuando-se as respectivas conclusões e projectando trabalhos futuros.

Capítulo 2

Qualidade de energia

O desenvolvimento tecnológico, nos últimos 20 anos, tem provocado cada vez mais uma preocupação das entidades gestoras/supervisoras da rede eléctrica, em criar condições de normalização do fornecimento de energia eléctrica.

A energia eléctrica é, hoje em dia, um meio de comodidade para os clientes das entidades fornecedoras, para o qual muito tem contribuído o aumento efectivo do controlo das características do serviço fornecido, obtendo-se garantias de que o mesmo será fornecido dentro das necessidades e nas condições pré-estabelecidas. Tendo em conta a especificidade do serviço energia, uma vez que a sua produção é feita longe dos locais de consumo, existem diversas condicionantes que levam ao estudo da qualidade de energia.

Muitas indústrias, ao longo dos tempos, sofreram com os problemas existentes na rede. Por exemplo, os longos cortes de energia provocavam paragens prolongadas e mesmo os cortes de curta duração levavam a que muitas empresas tivessem problemas na sua produção e, por sua vez, largos prejuízos financeiros. Por estas razões a qualidade da energia é essencial para o bom funcionamento de todos os equipamentos industriais/domésticos. Com a regulamentação/normalização das perturbações, pretendeu-se parametrizar a qualidade da energia.

As entidades fornecedoras têm-se, cada vez mais, preocupado com o fornecimento de uma onda de tensão de qualidade, ou seja, com uma tensão sinusoidal, com frequência de 50Hz, equilibrada (entre fases) e com valor eficaz dentro dos limites contratuais. No entanto, tendo em conta que a energia eléctrica é um produto que é produzido/consumido num determinado instante, é fisicamente impossível assegurar que a qualidade de tensão seja perfeita, devido às condições de produção e às cargas de utilização. A rede de energia eléctrica, uma vez que é utilizada por uma grande diversidade de clientes, sofre também com a tipologia de equipamentos que cada um destes clientes possui. Tendo em conta o que já foi mencionado surge então a necessidade de identificar as principais perturbações da rede/instalações:

- Variações do módulo de tensão;
- Variações de frequência;

- Desequilíbrios das tensões;
- Poluição harmónica;
- Flutuações rápidas e cíclicas de tensão (efeito "flicker");
- Ocos (cavas) de tensão e micro-cortes.

Estas perturbações como já foi referido são muitas vezes geradas pela tipologia dos equipamentos existentes, quer na indústria quer em edifícios de elevada complexidade. Nestes locais podem existir diversos equipamentos, tais como os fornos a arco, os aparelhos de soldadura e os motores monofásicos e etc... Estes equipamentos são muitas vezes os responsáveis pelas perturbações/poluição das redes internas/externas às instalações.

Para corrigir este tipo de perturbações é muitas vezes necessário que os proprietários realizem grandes investimentos, o que por vezes não estão disponíveis para o fazer.

Para regulamentar estas perturbações foi criada a EN 50160 [1] que define/descreve quais os parâmetros essenciais a controlar, sendo que das perturbações mencionadas anteriormente a norma considera apenas as seguintes:

- Desequilíbrio de tensão;
- Ocos (cavas de tensão);
- Variações rápidas e cíclicas de tensão (efeito "flicker");
- Oscilações e variações de frequência;
- Sobretensões;
- Distorção de onda de tensão decorrente da presença de harmónicos.

De seguida passa-se a descrever em pormenor estas perturbações, os efeitos que as mesmas provocam e o que fazer para as mitigar/eliminar [1] [2] [3].

Antes desta descrição convém também perceber o conceito de funcionamento normal, que na Norma EN 50160 [1] é descrito como sendo a condição de funcionamento de uma rede eléctrica em condições que as necessidades de carga e produção são efectuadas, que todas as manobras necessárias são executadas para o bom funcionamento e que as protecções actuam quando necessário, salvo perturbações temporárias e intempestivas como por exemplo:

- Condições de alimentação provisória;
- Condições climáticas excepcionais;
- Perturbações provocadas por terceiros;
- Perturbações provocadas por causas externas;
- Etc…

2.1. Desequilíbrio de tensão

Segundo a Norma EN 50160 [1] o desequilíbrio de tensão corresponde a uma condição de que os valores eficazes das tensões ou os ângulos de desfasamento entre fases consecutivas não são todas iguais. O desequilíbrio de tensão poderá ter origem em diversas situações devido a uma distribuição não equitativa das cargas monofásicas, ao facto de poderem existir enrolamentos dos transformadores com impedâncias assimétricas, à existência de sobrecargas ou desequilíbrios em diversos equipamentos e também à existência de curto-circuitos entre fase e neutro que não tenham sido detectados.

2.1.1. Principais problemas

Os desequilíbrios de tensão nas instalações eléctricas de baixa tensão, fundamentalmente nas instalações cujos equipamentos são monofásicos, são bastante comuns.

Estes desequilíbrios podem provocar os seguintes problemas:

- Sobrecargas nos condutores;
- Sobreaquecimento nas máquinas rotativas;
- Diminuição na capacidade de transporte das canalizações eléctricas;
- Mau funcionamento de sistemas electrónicos.

Muitas vezes, nas instalações, estes problemas são provocados pela má distribuição das cargas, o que leva a um desequilíbrio nas fases e por sua vez a um aumento da corrente de neutro. Estes problemas são detectados normalmente e a título de exemplo, nos motores de indução, nas máquinas síncronas e nos rectificadores.

Nos motores de indução o problema é criado pela componente inversa das correntes que tentam forçar o motor a rodar em sentido contrário, provocando um sobreaquecimento do motor e por consequência a uma diminuição do tempo de vida útil, tendo em conta que o isolamento devido ao aumento das temperaturas irá perder as suas características

Nas máquinas síncronas à semelhança dos motores de indução a componente inversa, através da criação de um campo magnético no estator com velocidade contrária ao sentido de rotação e que por sua vez irá provocar um aumento das perdas do rotor do motor.

Quanto aos rectificadores, estes normalmente já geram correntes harmónicas que poluem a rede. No entanto quando existem desequilíbrios de tensão irá ser gerado, por exemplo, o 3º harmónico cujos efeitos são indesejáveis e que poderão causar estragos em diversos equipamentos causando por vezes ressonâncias que poderão, por exemplo, levar à danificação de condensadores

Para se efectuar uma análise/avaliação dos desequilíbrios entre tensões, é necessário conhecer os parâmetros necessários à execução da mesma. Segundo a Norma EN50160 [1], os desequilíbrios de tensão deverão ser analisados, em condições normais de funcionamento, durante cada período de uma semana, em que 95% dos valores eficazes médios de 10 minutos da componente inversa (fundamental) da tensão de alimentação se devem encontrar no intervalo de 0 a 2% da componente directa (fundamental) correspondente. Neste sentido convém perceber o sentido das componentes indicadas.

As tensões de um sistema trifásico equilibrado, são normalmente de igual módulo mas com desfasamento de 120º entre si e com uma sequência anti-horária. Considerando um sistema trifásico com tensões U1, U2 e U3 e decompondo a tensão nas suas componentes directa, inversa e homopolar, tem-se o seguinte [2]:

$$\text{Grau de desequilíbrio inverso } (u_u) = \frac{Ui}{Ud} \tag{2.1}$$

$$\text{Grau de desequilíbrio homopolar } (u_h) = \frac{U0}{Ud} \tag{2.2}$$

Sendo:

U_i –componente inversa da tensão
U_d - componente directa da tensão
U_o - componente homopolar da tensão

α – operador cujo valor é igual a: $-\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}=e^{j120^\circ}=e^{j\frac{2\pi}{3}}$

Tendo então que:

- $\underline{U}_1=\underline{U}_d+\underline{U}_i+\underline{U}_0$ (2.3)
- $\underline{U}_2=\alpha^2\underline{U}_d+\alpha\underline{U}_i+\underline{U}_0$ (2.4)
- $\underline{U}_3=\alpha\underline{U}_d+\alpha^2\underline{U}_i+\underline{U}_0$ (2.5)

Então têm-se:

- $\underline{U}_{12} = \underline{U}_1-\underline{U}_2=\underline{U}_d\,(1-\alpha^2) + \underline{U}_i\,(1-\alpha)$ (2.6)
- $\underline{U}_{23}= \underline{U}_2-\underline{U}_3 = \underline{U}_d(\alpha^2-\alpha)+\underline{U}_i\,(\alpha-\alpha^2)$
  $= \alpha\,(\underline{U}_d\,(\alpha-1) + \underline{U}_i\,(1-\alpha))$ (2.7)
- $\underline{U}_{12} - \frac{U23}{\alpha} = -\underline{U}_d\,(-2+\alpha^2+\alpha)$ (2.8)

Obtendo a componente directa e inversa:

- $Ud = \frac{U_{12} \quad -U_{23}\alpha^2}{3}$ (2.9)
- $Ui = \frac{U_{12} \quad -U_{23}\alpha}{3}$ (2.10)

Sendo os três modelos (directo inverso e homopolar) os representados na figura 2.1:

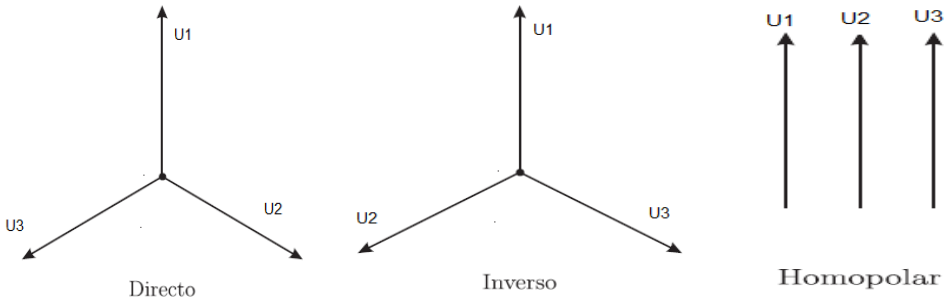


Figura 2.1 - Sistemas básicos de tensões [3]

Sistema directo - Trata-se de um sistema trifásico equilibrado que é síncrono com o sistema de origem.

Sistema inverso - É um sistema trifásico equilibrado, mas oposto ao sistema de origem.

Sistema homopolar - É um sistema constituído por três vectores cujos módulos e direcções são iguais.

2.1.2. Correcção dos problemas

Os problemas provocados pelo desequilíbrio das tensões podem ser corrigidos, por exemplo, através do equilíbrio entre as fases das cargas monofásicas, da utilização de um regulador automático de tensão, do aumento da potência de curto-circuito, poder-se-á também dimensionar relés de protecção para detectar os desequilíbrios de tensão e também através de transformadores com ligações especiais.

2.2. Cavas (ocos) de tensão

Na norma EN 50160 [1], é definido o que é uma cava de tensão e a sua duração.

A cava de tensão é, por definição, uma redução temporária de tensão, para um valor inferior a 90 % do seu valor eficaz. Quanto à sua duração, é o tempo que decorre desde o instante em que a tensão eficaz decresce abaixo do valor de tensão de arranque, até ao instante em que atinge o limite final (duração entre 10 milissegundos e 1 minuto inclusivé). As principais causas da existência de cavas prendem-se com a ocorrência de um arranque de uma carga de grande dimensão que tendo em conta as suas características de consumo inicial poderá levar ao aparecimento de cavas, com a ligação inicial de um grande transformador que devido à corrente necessária de magnetização pode levar a variações de tensão, a existência de defeitos na cablagem ou má instalação que leva a um aumento da impedância e por sua vez leva a um aumento de solicitação de corrente e uma queda de tensão adicional. Para além das causas anteriormente referidas, as cavas de tensão poderão também ser originadas devido a problemas nos equipamentos reguladores de tensão, devido à ocorrência de curto-circuitos na própria instalação em que a tensão cai para valores muito próximos de zero e os que ocorrem com alguma frequência, nas redes de transporte e distribuição, provocados pela ocorrência de descargas atmosféricas, existência de neve e gelo, erros de operação e incêndios.

De seguida mostra-se um exemplo de uma cava de tensão.

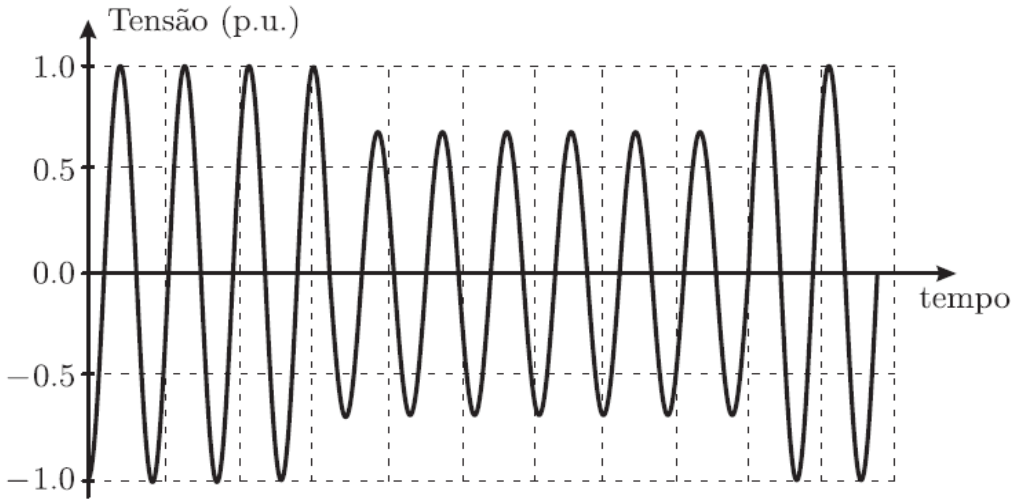


Figura 2.2 – Exemplo de uma cava de tensão [3]

2.2.1. Principais problemas

Existem, instalados na indústria e edifícios, diversos equipamentos que são bastante sensíveis ao tipo de perturbações referidas. Desses equipamentos, salientam-se os variadores de velocidade, os computadores, os equipamentos de controlo e as redes de comunicações.

Dos principais problemas que advêm destas perturbações salientam-se os seguintes:

- Perturbações nos contactores;
- Reset de variadores de velocidade;
- Reset de redes de comunicações;
- Reset de autómatos e sistemas de supervisão.

Para além dos problemas referenciados existem diversos equipamentos que, aquando da ocorrência de cavas de tensão se tornam sensíveis às mesmas, dos quais se salientam as lâmpadas de vapor de sódio e os motores síncronos.

Quanto à perturbação nos contactores, estes equipamentos são normalmente sensíveis durante 100 milissegundos a cavas com Un <50%, as redes de comunicação são sensíveis durante 40 milissegundos com Un <80% e os variadores de velocidade durante 60 milissegundos com Un <90%.

Com a ocorrência de uma cava as lâmpadas de vapor de sódio apagam-se o que depois levará algum tempo até voltarem a acender.

Nos motores síncronos que não sejam accionados por variadores de velocidade, aquando da ocorrência de uma cava vai diminuir o binário do motor, que poderá voltar ao binário de funcionamento caso o motor tenha características mais robustas, no entanto estas reduções de binário e em caso de serem constantes poderão levar a danos graves do motor.

Os variadores de velocidade são equipamentos bastante sensíveis às cavas de tensão. Estes equipamentos são normalmente programados para aguentar uma profundidade de cava de 15 % durante 200 milissegundos. Em muitos casos o variador poderá repor o seu funcionamento normal (efectua o auto-reset) após a ocorrência de uma cava, no entanto por vezes é necessário

efectuar reset manualmente o que leva a que os motores que se encontram interligados a estes sistemas entrem em paragem.

Os autómatos programáveis quando ocorre uma cava entram em alarme, sendo necessário efectuar o reset dos mesmos.

De facto, tendo em conta os equipamentos electronicamente avançados existentes nas instalações actuais, torna-se cada vez mais necessário encontrar soluções de protecção dos mesmos com a finalidade de evitar paragens de funcionamento, em que poderá até provocar paragens de unidades fabris, com as consequências produtivas/financeiras que advêm dessas paragens. Estas perturbações para além das paragens intempestivas dos equipamentos, podem também provocar danos irreparáveis/com custos elevados de reparação, consoante a sua periodicidade e duração.

Para efectuar a análise deste tipo de perturbações, convém conhecer os parâmetros da qual a mesma depende [1]:

Cava de tensão – Limite de arranque igual a 90% da tensão de referência;

Duração da cava de tensão – Duração no intervalo de 10 milissegundos a 1 minuto (inclusivé);

Limiar final da cava de tensão – Valor eficaz da tensão que define o final da cava;

Tensão residual da cava de tensão – Valor mínimo registado durante a cava;

Limiar de início da cava de tensão – Valor eficaz de tensão que define o início da cava.

Temos então que a profundidade de uma cava de tensão é dada em % por:

- $\Delta U = \frac{U_r}{U_N}$ (2.11)

Onde:
U_r – Valor eficaz da tensão residual do defeito;
U_N- Tensão nominal;

Sendo que U_r (%) num determinado barramento onde se está a efectuar o estudo, é dado por:

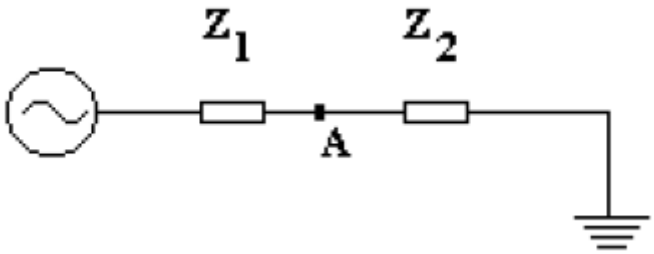


Figura 2.3 - Cálculo aproximado da tensão residual de defeito numa rede radial [2]

- $U_r(\%) = \frac{Z_2}{Z_1+Z_2}$ (2.12)

A norma EN 50160 [1] classifica as cavas, em função da tensão residual e da sua duração, da forma apresentada na tabela 2.1:

Tabela 2.1 – Classificação das cavas de tensão [1]

Tensão residual u %	Duração t ms				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$1000 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$90 > u \geq 80$	CELL A1	CELL A2	CELL A3	CELL A4	CELL A5
$80 > u \geq 70$	CELL B1	CELL B2	CELL B3	CELL B4	CELL B5
$70 > u \geq 40$	CELL C1	CELL C2	CELL C3	CELL C4	CELL C5
$40 > u \geq 5$	CELL D1	CELL D2	CELL D3	CELL D4	CELL D5
$5 > u$	CELL X1	CELL X2	CELL X3	CELL X4	CELL X5

2.2.2. Correcção dos problemas

A eliminação/mitigação destas perturbações, poderá ser conseguida através de:

- Redução do nº e do tempo de falhas, através de uma melhor política de abate de árvores junto das linhas aéreas, através de instalação de protecções contra animais, a substituição de linhas aéreas por cabos subterrâneos, usar linhas aéreas com isolamento e aumentar a manutenção (diminuir à periodicidade);
- Alteração das tensões de comando de AC (corrente alternada) para CC (corrente contínua).
- Instalação de equipamentos que filtram/evitam pequenas perturbações da rede. Alguns destes equipamentos são:

  - UPS´s;
  - Sistemas Motor-gerador;
  - Compensadores dinâmicos de tensão.

2.3. Variações rápidas e cíclicas de tensão (efeito "flicker")

Segundo a norma EN 50160 [1] uma flutuação de tensão é uma série de alterações da tensão ou variação cíclica da envolvente da tensão.

As variações de tensão estão, normalmente, associadas ao efeito de "flicker" que consiste na percepção visual da ocorrência de variações de luminosidade.

O efeito de "flicker" é normalmente provocado por flutuações de tensão resultantes de quedas de tensão rápidas, que por sua vez são provocadas por equipamentos, que funcionam de uma forma regular, provocando flutuações, sendo estas visíveis na iluminação.

Os equipamentos que provocam este tipo de perturbações são:

- Aparelhos de soldadura por arco;

- Fornos de arco;
- Motores de arranque frequente;
- Moinhos industriais;
- Geradores eólicos;
- Ventiladores de grande potência.

Este tipo de equipamentos poderá provocar os efeitos visíveis nos gráficos seguintes.

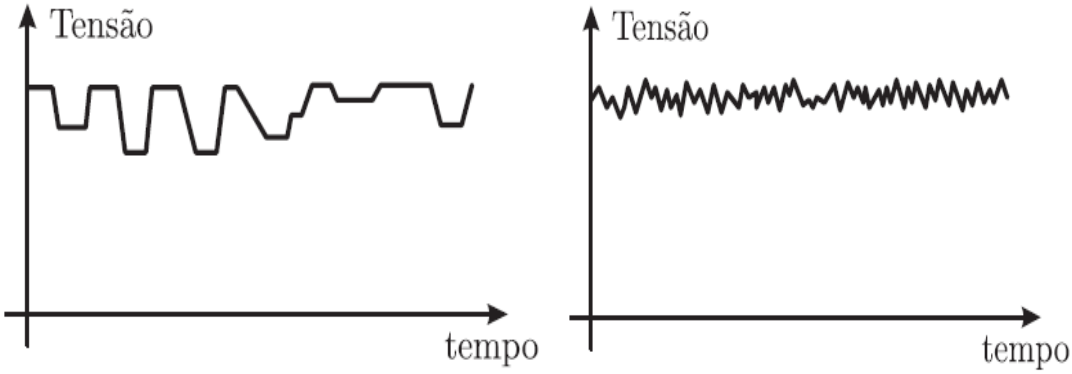


Figura 2.4 – Exemplo de flutuações de tensão [3]

2.3.1. Principais problemas

O principal problema gerado pelas flutuações de tensão é a tremulação ("flicker"), que quando atinge variações de luminância elevadas pode ser bastante desagradável e mesmo provocar/agravar problemas de saúde de certas pessoas.

A análise/avaliação destas perturbações é efectuada tendo em consideração o incómodo causado pela flutuação da luminância e frequência desta mesma flutuação. É então necessário perceber quais os parâmetros associados a estas perturbações.

Antes de analisar as perturbações, é necessário compreender os principais conceitos [1]:

Duração de uma variação de tensão – É o intervalo de tempo em que a tensão varia, desde um instante inicial até ao final.

Flutuação de tensão – É a série de alterações de tensão ou variação cíclica da envolvente da tensão.

"Flicker" – É a flutuação da luminância de fontes luminosas.

Limite de irritabilidade do "flicker" – É o limite máximo em que a luminância pode flutuar sendo suportada por uma determinada amostra de população.

Índice de severidade do "flicker" de curta duração (Pst) – É o índice de avaliação do fenómeno de "flicker" num curto período de tempo (normalmente 10 minutos).

- $P_{st}=0{,}36dr^{0,31}\,RF$ (2.13)

Onde:

d- valor da variação relativa da tensão $\frac{\Delta U}{U}$(%);

r- número de variações de tensão por minuto;
R-factor de frequência que toma valores dependentes do valor r;
F-factor de equivalência que depende da forma da flutuação da tensão;

<u>Índice de severidade do "flicker" de longa duração (Plt)</u> – É o índice de avaliação do fenómeno de "flicker" num longo período de tempo (normalmente 2 horas).

- $P_{lt}=\sqrt[3]{\sum_i^N \frac{P_{sti}^3}{N}}$ (2.14)

Onde:

N-número de indicadores P_{st} considerados durante o intervalo de 2 horas

<u>Índice de severidade equivalente do "flicker" </u>– É o índice que permite a avaliação em intervalos de tempo longos e curtos do fenómeno do "flicker".

Para efectuar uma análise detalhada das perturbações de "flicker", utiliza-se normalmente equipamentos designados de "flickómetros".

Estes equipamentos possuem umas determinadas características, baseadas na perceptibilidade humana, e que se passam a descrever:

- Possuem um circuito eléctrico, que permite através do valor da componente fundamental da tensão de rede, extrair a parte de flutuação sendo sensível apenas a frequências na ordem de 1,5 a 30 Hz;
- Possuem também um circuito que permite a integração num tempo de resposta adequado, integrado o valor de tensão flutuantes em períodos de 1 minuto e o cálculo do seu valor médio;
- Possui ainda a capacidade de registar os valores médios registados em sistema de memória.

Após esta análise, é então necessário efectuar uma análise da curva de variação do limite de "flicker" da tensão em função da frequência, considerando os valores limite e outros parâmetros como Plt e Pst já descritos anteriormente.

Um exemplo da curva de limite de "flicker" da tensão em função da frequência é a figura 2.5:

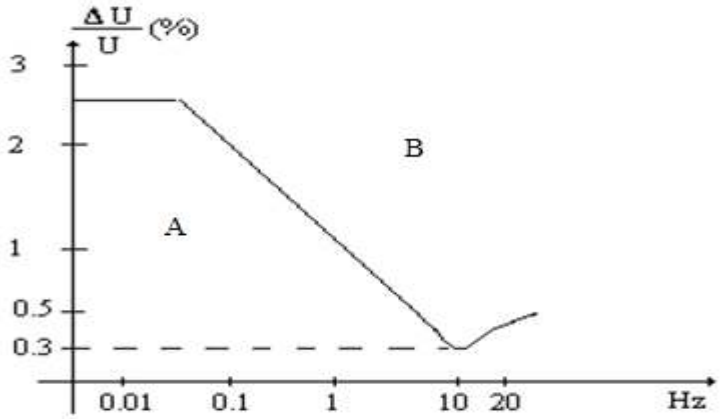


Figura 2.5 – Curva de limite de "flicker" em função da frequência [2]

Zona A – Zona onde não é perceptível o efeito de "flicker";
Zona B - Zona onde é perceptível o efeito de "flicker"(entre 1,5 e 30 Hz);

2.3.2. Correcção dos problemas

A eliminação/mitigação destas perturbações, poderá ser conseguida através de:

- Instalação de lâmpadas com menor sensibilidade a estas variações;
- Aumentar a potência de curto-circuito através da instalação de geradores próximo das cargas perturbadoras;
- Ligar os aparelhos perturbadores a níveis de tensão superiores;
- Ligar baterias de condensadores em série a montante do ponto de interligação à rede da carga perturbadora;
- Utilização de balastros electrónicos para regulação de tensão;
- Utilização de arrancadores progressivos para motores de grande potência.

2.4. Oscilações e variações de frequência

Hoje em dia, é raro ocorrerem oscilações de frequência. As variações de frequência estão relacionadas com a tipologia das cargas e da capacidade dos dispositivos de comando e controlo em se adaptarem às necessidades ou seja, as variações de frequência surgem devido à falta de estabilidade entre a capacidade produtiva e as necessidades de absorver energia. Esta falta de estabilidade também poderá ser provocada pela ocorrência de avarias numa central de produção de energia, pela colocação de uma linha de transporte fora de serviço ou a diminuição brusca de consumo.

2.4.1. Principais problemas

Os principais problemas provocados pelas perturbações de frequência passam por:

- Os equipamentos que dependem da frequência como referencial temporal alteram o seu funcionamento;
- Pode ocorrer o sobreaquecimento de fontes de alimentação;
- Pode ocorrer a variação da potência debitada pelos motores AC.

Para efectuar a análise deste tipo de perturbações convém conhecer os parâmetros que a constituem/definem, tendo por base a norma EN 50160 [1]:

Frequência da tensão de alimentação - É a taxa de repetição, que é medida ao longo de um dado intervalo de tempo, da onda fundamental de tensão;

Frequência nominal – É o valor nominal da frequência de alimentação;

A norma EN 50160 [1] impõe que a frequência nominal de alimentação deverá ter o valor de 50 Hz, sendo que no período normal de funcionamento, num período de medição de 10 segundos, o valor médio da frequência fundamental, deverá estar compreendido no seguinte intervalo para redes com ligação síncrona a redes interligadas:

- 50 Hz ± 1% [49,5 Hz; 50,5 Hz] durante 99,5 % de um ano;
- 50 Hz + 4% / -6% [47 Hz; 52 Hz] durante 100 % do tempo.

Tem-se ainda outro intervalo, para os sistemas sem ligação síncrona a um sistema interligado:

- 50 Hz ± 2% [49 Hz; 51Hz] durante 95% de uma semana;
- 50 Hz ± 15% [42,5 Hz; 57,5 Hz] durante 100 % do tempo.

De seguida mostra-se uma figura, onde se verifica a variação de frequência de tensão ao longo do tempo.

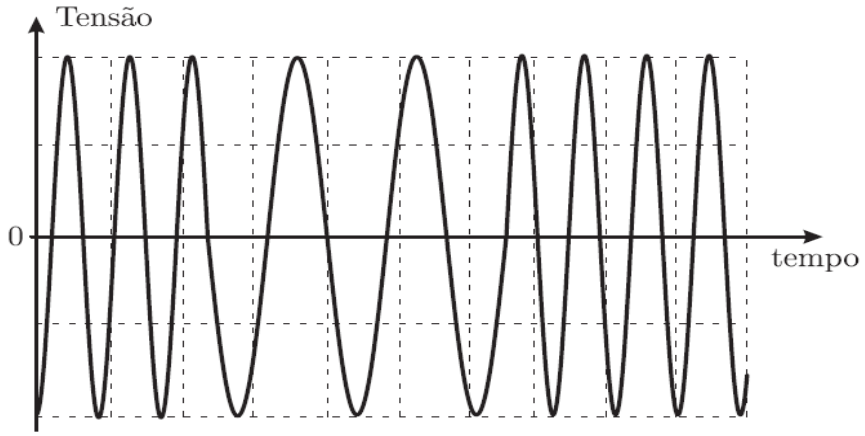


Figura 2.6 – Exemplo da variação de frequência de tensão ao longo do tempo [3]

2.4.2. Correcção dos problemas

Para se conseguir eliminar/mitigar este tipo de perturbações é necessário ter um especial cuidado, quer com a quantidade de produção, quer com a carga necessária, ou seja, a produção deverá estar adequada à carga. O facto de haver cada vez mais uma maior capacidade produtiva, ajuda também com que as variações de frequência sejam cada vez menores.

2.5. Sobretensões

Uma sobretensão, não é nada mais do que o aparecimento intempestivo de uma variação do valor instantâneo da amplitude de tensão. As sobretensões podem ser classificadas como sendo de baixa ou alta frequência. As sobretensões de baixa frequência são as que ocorrem com frequência igual à da rede (50Hz), as sobretensões de alta frequência são as que ocorrem com frequências superiores à da rede.

As sobretensões nos sistemas eléctricos de energia podem ser causadas, essencialmente, pelos seguintes tipos de ocorrências:

- Descargas atmosféricas;
- Operação de disjuntores de rede;
- Descargas electrostáticas;
- Outras ocorrências provocadas por geradores de impulsos integrantes do sistema.

Quanto às descargas atmosféricas, estas são de enorme importância, tendo em conta o contributo para a definição dos tipos de isolamento e dos dispositivos de protecção. Este tipo de descargas provoca fenómenos transitórios (electromagnéticos) que se manifestam em alguns milissegundos após a sua ocorrência. Este tipo de sobretensões tem origem em trovoadas, que originam correntes para a terra de valor de pico que pode atingir os 200 kA e cujo valor médio será da ordem de 20 kA. A ocorrência de descargas atmosféricas poderá levar a um aumento do potencial da terra, sendo as diferenças de potencial entre dois pontos de alguns kV o que leva a que as correntes sejam elevadas.

Quanto às sobretensões provocadas pela operação dos disjuntores são importantes para o dimensionamento do isolamento dos equipamentos. Caso o isolamento ou a protecção não sejam adequados podem ocorrer sobretensões que causem curto-circuitos. Este tipo de sobretensão apresenta uma duração superior às atmosféricas (8 /20 μs), sendo que a sua duração poderá ser de 175/3000 μs.

Quanto às descargas electrostáticas estas são muito frequentes e resultam normalmente no ser humano através do contacto com produtos sintéticos ficando carregado de energia electrostática. Em alguns equipamentos esta energia provocada por uma rápida subida de tensão poderá levar a avarias em alguns equipamentos electrónicos.

Num sistema podem também ocorrer sobretensões provocadas pelo funcionamento de equipamentos integrantes do mesmo. Algumas das situações que poderão ocorrer e que poderão levar ao aparecimento de sobretensões passam pela ocorrência de comutações (comutação de correntes indutivas ou de circuitos capacitivos).

2.5.1. Principais problemas

As sobretensões podem afectar, quer as redes, quer os equipamentos associados. Alguns dos problemas que podem surgir são:

- O isolamento eléctrico de cabos, isoladores, condensadores, transformadores e interruptores pode ser danificado;
- Os dispositivos eléctricos com semicondutores no seu interior, são bastante sensíveis e podem sofrer de avarias e anomalias de funcionamento;
- Os sistemas digitais (por exemplo computadores) poderão sofrer problemas de memória;
- A instrumentação poderá passar a gerar informação errada;
- As centrais de alarme, poderão actuar intempestivamente;
- Os equipamentos de controlo de velocidade poderão ser afectados, sendo a velocidade dos equipamentos afectada.

Convém também conhecer o significado de alguma terminologia, para perceber este tipo de perturbação, tendo em conta a Norma EN 50160 [1]:

Sobretensão transitória – Consiste numa sobretensão de curta duração (alguns milissegundos), oscilatória ou não, e que normalmente é amortecida.

Sobretensão temporária à frequência da rede – Consiste num aumento temporário do valor de tensão eficaz, num determinado ponto do sistema, tendo por base um valor limite inicial.

Duração da sobretensão – É a diferença absoluta entre o instante em que se inicia a sobretensão e o valor final da mesma.

Limiar inicial da sobretensão – É o valor eficaz da tensão, que define o início da ocorrência da sobretensão.

Limiar final da sobretensão – É o valor eficaz da tensão, que define o final da ocorrência da sobretensão.

Valor de pico – É a amplitude máxima do impulso. O seu valor poderá variar entre 1 a 5 vezes o valor nominal da tensão.

Segundo a norma EN50160 [1] o limite inicial para a sobretensão é de 110% da tensão de referência. A norma considera que o nível da sobretensão é definido pela tensão e pela sua duração temporal. As sobretensões podem ocorrer de diversas formas, sendo exemplo:

- Sobretensão entre 2 condutores activos;
- Sobretensão entre os condutores activos e a terra;
- Sobretensão entre as fases e o neutro.

Para a norma, a avaliação das sobretensões depende da finalidade e da avaliação que se pretende efectuar. Normalmente, num sistema trifásico de baixa tensão, utiliza-se o método de agregação polifásico, que consiste em definir um evento com duração e valor de tensão máxima eficaz únicos.

As sobretensões podem ser classificadas segundo o quadro seguinte:

Tabela 2.2 - Classificação das sobretensões [1]

Sobretensão *u* %	Duração *t* ms		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60\,000$
$u \geq 120$	CELL S1	CELL S2	CELL S3
$120 > u > 110$	CELL T1	CELL T2	CELL T3

As sobretensões transitórias são geralmente provocadas por descargas ou mudanças de estado no sistema.

2.5.2. Correcção dos problemas

Este tipo de sobretensões poderá ser eliminado/mitigado através das seguintes medidas:

- Reduzir a emissão de impulsos na fonte de perturbação;
- Atenuar a propagação;
- Instalação de descarregadores de sobretensão nos quadros de baixa tensão e nas linhas de média e alta tensão;
- Instalação de supressor de impulsos de tensão nas instalações dos clientes.

2.6. Distorção de onda de tensão decorrente da presença de harmónicos

A distorção da onda de tensão devido à presença de harmónicos, é um problema que tem vindo a aumentar a sua importância, tendo em conta a evolução dos equipamentos electrónicos, que se tornaram mais sensíveis e que por sua vez também provocam (alguns deles) o aumento desta mesma distorção.

O problema da distorção harmónica será tratado num capítulo posterior.

A norma EN 50160 [1] define dois termos que serão aprofundados posteriormente e que são a tensão harmónica e a tensão inter-harmónica.

A tensão harmónica, é a tensão cujo valor é múltiplo da frequência fundamental da tensão de alimentação. A tensão inter-harmónica corresponde ao valor de tensão sinusoidal, cuja frequência não é igual a um múltiplo inteiro da frequência fundamental.

2.7. A energia reactiva e o factor de potência

A energia reactiva tem sido, ao longo dos anos, cada vez mais tida em conta, quer pelos distribuidores de energia, quer pelos consumidores em geral. O facto de as entidades reguladoras, juntamente com os distribuidores, terem vindo ao longo dos anos a lançar medidas para que a eficiência da rede seja cada vez melhor, tem levado a que os consumidores solucionem/ corrijam as suas instalações evitando assim o pagamento associado.

Em 26 de Abril de 2010, foi publicado em Diário da República o Despacho nº 7253/2010 [4], que veio definir novas regras no que diz respeito à forma de facturação de energia reactiva. Com estas alterações, a energia reactiva passou a ser facturada em função dos valores de tg φ (nas horas fora de vazio) da tabela 2.3, sendo agravados por um factor multiplicador à medida que os valores aumentam.

Tabela 2.3 - Valores limite e respectivo factor multiplicador de facturação de energia reactiva [4]

Tg φ	Factor multiplicador
0,3 - 0,4	1/3 (Janeiro 2012)
0,4 - 0,5	1
>0,5	3

Anteriormente a energia reactiva era facturada da seguinte forma:

- Se a tg φ nas horas fora de vazio fosse ≤ 0,4 não era facturado;
- Se a tg φ nas horas fora de vazio fosse > 0,4 (cos φ < 0,928) era facturado.

A alteração que o despacho veio introduzir está a provocar que, em muitos casos, seja necessário recalcular/redimensionar a forma de compensação existente. Para melhor compreender este tema, convém perceber o significado de alguns parâmetros que lhe estão associados.

Todos os equipamentos elétricos alimentados em corrente alternada, consomem energia activa (kWh), no entanto existem certos equipamentos, como por exemplo os motores, que necessitam de consumir energia denominada de reactiva. Este tipo de equipamentos necessitam de energia reactiva, aquando da criação dos campos magnéticos necessários ao seu funcionamento e fornecem energia reactiva à rede aquando do seu normal funcionamento.

Têm-se então que para o cálculo de um potência num determinado instante [5]:

- $v(t) = \sqrt{2}\, V \operatorname{sen} \omega t$ (2.15)

- $i(t) = \sqrt{2}\, I \operatorname{sen} (\omega t - \varphi)$ (2.16)

sendo:

- $p(t) = v(t) \times i(t) =$

$= 2\ V\ I \text{ sen } \omega t \times \text{sen } (\omega t - \varphi)$ (2.17)

Após desenvolvimento desta expressão chega-se à seguinte expressão:

- $p(t) = VI \cos \varphi - VI \cos(2\omega t - \varphi)$ (2.18)

sendo:

- $VI \cos \varphi$ - a componente constante;
- $VI \cos(2\omega t - \varphi)$ – a componente alternada que evolui com o dobro da frequência da tensão ou corrente.

Existem 4 conceitos essenciais para o estudo deste problema das redes elétricas:

- Potência activa;
- Potência reactiva;
- Potência aparente;
- Factor de potência.

A potência activa é dada pela seguinte expressão:

- $P = VI \cos \varphi$ (W) (2.19)

Sendo o $\cos \varphi$ o factor de potência

A potência aparente é dada por:

- $S = VI$ (VA) (2.20)

A potência reactiva é dada por:

- $Q = S \text{ sen } \varphi$ (VAr) (2.21)

Para melhor compreensão, pode-se analisar o triângulo de potências.

Tendo um motor sujeito a uma tensão V e absorvendo uma corrente I pode-se verificar que:

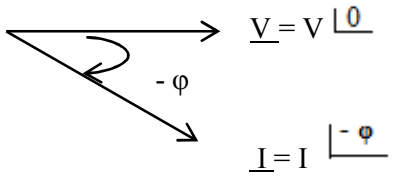


Figura 2.7 – Diagrama vectorial de uma tensão (V) e uma corrente (I) desfasadas de (-φ) [5]

Tem-se então uma tensão no eixo do x com módulo V e fase zero e , como a carga é indutiva, tem-se uma corrente de valor I com um ângulo φ negativo.

Sendo

- $\underline{S} = \underline{V}\,\underline{I}^* = VI \angle\varphi$ (2.22)

  $= VI \cos\varphi + j\, VI \operatorname{sen}\varphi$

  $= P + j\,Q$

Sendo a sua representação ideal dada pela seguinte figura:

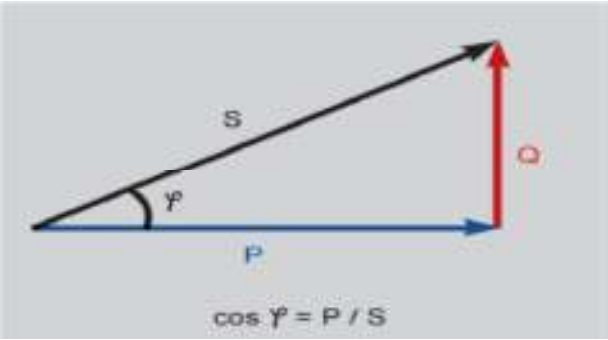


Figura 2.8 – Triângulo de potências [6]

2.7.1. Factor de potência

O factor de potência é o cosseno do ângulo que mede o desfasamento entre as ondas de tensão e corrente, provocado pela colocação em funcionamento de cargas indutivas. Considera-se também que o factor de potência representa a fracção de energia eléctrica que é transformada em trabalho.

Do triângulo de potência podem-se retirar as seguintes expressões:

- $P = S \cos\varphi$ (2.23)

- A expressão 2.21
- $Q / P = tg\ \varphi$ (2.25)
- $Q = P\ tg\ \varphi$ (2.26)
- $S = P / \cos \varphi$ (2.27)

Tendo em conta que a energia reactiva, segundo o despacho 7253/2010 [4], é facturada em função dos valores de tg φ , convém ter presente a correspondência entre o factor de potência e a tg φ respectiva, conforme a tabela seguinte:

Tabela 2.4 - Correspondência entre o factor de potência e a tangente

cos ϕ	ϕ (ºC)	tg ϕ
1,00	0,00	0,00
0,96	16,70	0,30
0,95	18,19	0,33
0,93	21,87	0,40
0,90	25,84	0,48
0,89	26,57	0,50
0,80	36,87	0,75
0,70	45,57	1,02
0,60	53,13	1,33

Pode-se verificar que para não se efectuar qualquer pagamento de energia reactiva, é necessário que o factor de potência esteja acima de 0,96.

2.7.2. Principais problemas

A existência de energia reactiva leva ao surgimento dos seguintes problemas:

- Um baixo factor de potência que por sua vez leva a um elevado custo na factura de energia;
- Um aumento das correntes na linha de transmissão;
- Maiores quedas de tensão na linha de alimentação;
- Maiores perdas na linha de alimentação;
- Sobreaquecimento dos cabos.

2.7.3. Correcção dos problemas

Pelos motivos apresentados anteriormente, surge a necessidade de se arranjar formas de correcção/mitigação destes problemas. Neste sentido, para aumentar o factor de potência, é necessário falar em compensação/correcção de factor de potência. A compensação do factor de potência é efectuada através da instalação de condensadores. Aquando da necessidade de

efectuar esta correcção, coloca-se a questão de onde deverá ser efectuada. A compensação poderá ser efectuada, consoante as necessidades/objectivos, em três locais distintos:

- Nas saídas do QGBT (Quadro geral de baixa tensão);
- Em cada zona do edifício (Quadros parciais);
- Nos bornes de cada receptor do tipo indutivo.

O que influencia a escolha do local onde se irá efectuar a compensação é:

- A necessidade ou não de eliminar o pagamento de energia reactiva;
- O custo do equipamento a instalar;
- O modo como é efectuada a distribuição de energia eléctrica;
- Os efeitos da instalação de condensadores ao longo da instalação;
- O regime de carga.

Quanto às três tipologias de localização da compensação, possuem pontos fortes e fracos que poderão também ajudar na escolha.

Na compensação efectuada no QGBT, são eliminadas as penalizações por consumo excessivo de energia reactiva e passa a ter uma potência aparente adaptada às necessidades do edifício. Contudo a corrente reactiva contínua presente na instalação e as perdas por efeito de Joule não são eliminadas/mitigadas.

A compensação parcial por zonas, também elimina o consumo excessivo de energia reactiva. Consegue optimizar a instalação, devido à diminuição de energia reactiva a circular na instalação e aumenta também a disponibilidade de potência activa. Neste tipo de compensação consegue-se diminuir as perdas por efeito de Joule, no entanto a energia reactiva continua a circular entre quadros e equipamentos receptores.

Na compensação individual consegue-se a máxima optimização da instalação, pois o problema é combatido na fonte, deixando de haver energia reactiva a circular na instalação, sendo as perdas por efeito de Joule totalmente eliminadas e por sua vez o sobreaquecimento dos cabos é também eliminado.

Após a escolha do local onde compensar é também necessário decidir se a compensação será fixa ou variável.

A compensação fixa, é normalmente utilizada para a eliminação de perdas de um transformador, através da instalação de condensadores nos bornes de baixa tensão do mesmo, ou até para compensação de motores assíncronos sem arrancadores progressivos. Neste último caso e para evitar possíveis problemas (auto-excitação) é necessário efectuar a regulação das protecções.

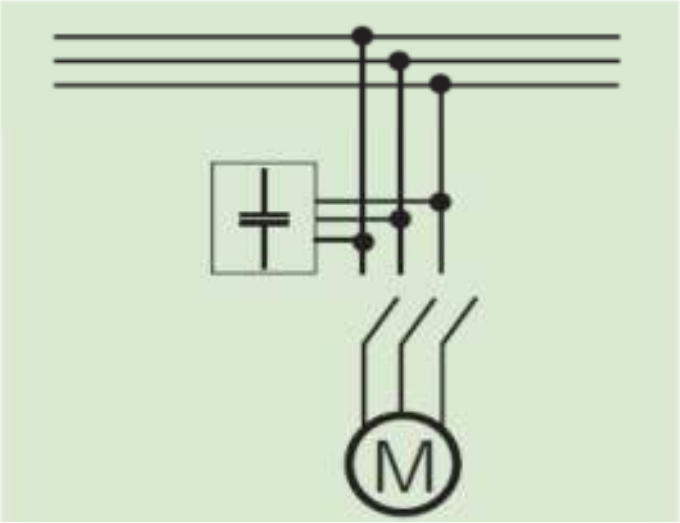


Figura 2.9 – Compensação fixa de um motor [6]

A compensação variável é a mais utilizada e permite, através da sua composição/dimensionamento, que se efectue a compensação adaptada ao instante/factor de potência da instalação.

Para este tipo de compensação, a bateria automática é constituída por 3 componentes essenciais:

- O relé varimétrico – que permite medir o factor de potência da instalação e verificar quais as necessidades de compensação;
- Os contactores – que permitem dar a ordem de entrada/saída dos diversos escalões de uma bateria;
- Os condensadores – que são os elementos que armazenam e fornecem a energia reactiva necessária à instalação.

Em simultâneo com a bateria, existem transformadores de intensidade que permitem efectuar uma leitura do estado de funcionamento da instalação, permitindo assim um melhor funcionamento da bateria.

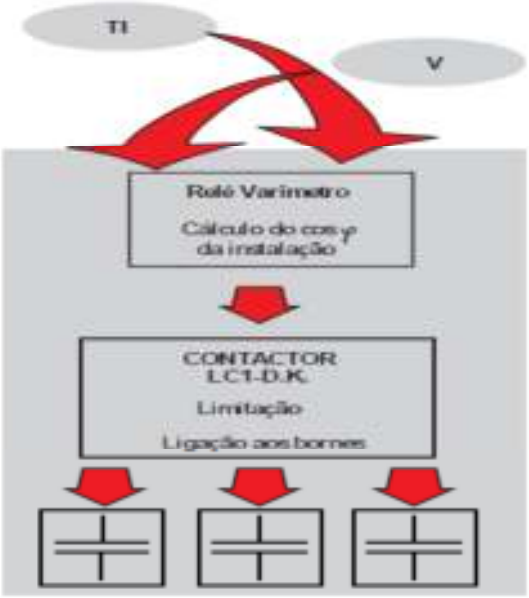


Figura 2.10 – Esquema de uma bateria de condensadores automática [6]

2.7.4. Cálculo de uma bateria

Para o cálculo de uma bateria de condensadores é necessário saber qual a potência (P) da instalação/equipamento, sendo efectuada da seguinte forma [5]:

- $Q = P * (tg\ \varphi_{inicial} - tg\ \varphi_{objectivo})$ (2.28)

Onde:

Q – É a potência reactiva necessária para compensar a instalação (kVAr);
P – É a potência activa (kW);
$tg\ \varphi_{inicial}$ – É a $tg\ \varphi$ sem compensação;
$tg\ \varphi_{objectivo}$ – É o valor de compensação que se pretende;

Capítulo 3

Harmónicos

A presença de harmónicos tem vindo, ao longo dos anos, a ter uma maior importância, tendo em conta a sensibilidade dos equipamentos instalados actualmente.

A presença de harmónicos é detectada através da deformação da onda de tensão ou da onda de corrente. Esta deformação, como já foi referido, é um dos problemas da perturbação da qualidade de energia eléctrica.

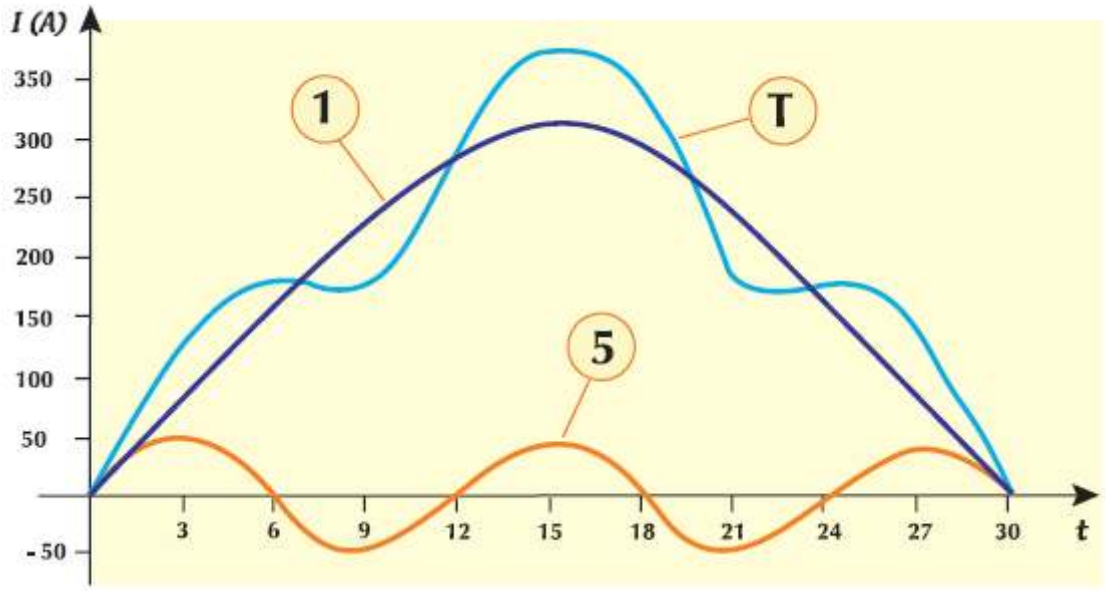


Figura 3.1 - Deformação da onda de corrente [7]

Na figura acima, consegue-se verificar um exemplo de uma distorção da onda de corrente, onde em 1 se tem a onda fundamental, em 5 uma onda com frequência diferente da fundamental e em T corresponde ao resultado do somatório dos sinais 1 e 5.

3.1 Caracterização dos sinais de harmónicos

Os sinais harmónicos podem ser caracterisados segundo a ordem, a frequência e a sequência.

Tabela 3.1- Resumo da caracterização dos sinais harmónicos [3][7]

Ordem do harmónico	Sequência	Frequência (Hz)
1º(fundamental)	+	50
2º	-	100
3º	0	150
4º	+	200
5º	-	250
6º	0	300
7º	+	350
8º	-	400
9º	0	450
11º	-	550
13º	+	650
15º	0	750
17º	-	850
19º	+	950
etc…		

Da análise do quadro resumo pode-se constatar que existem harmónicos de ordem par e ímpar, que os harmónicos podem ter sequência positiva, negativa ou nula e que a frequência de um harmónico é multipla da frequência fundamental em função da ordem(cresce com a ordem). Normalmente os harmónicos de ordem par (2º,4º,6º, etc) não aparecem com valores prejudiciais às instalações/equipamentos. Estes harmónicos poderão surgir com valores prejudiciais quando o sinal possui uma assimetria que leve a que haja o surgimento de uma componente continua. Quanto aos harmónicos de ordem ímpar, são os mais encontrados devido às caracterisiticas das cargas (não lineares) que possuem ondas com semi-ciclos positivos e negativos idênticos. Neste sentido, é essencial nos harmónicos de ordem ímpar, estudar a sua sequência. Tendo três tipos de sequências convém compreender os mesmos:

- Quanto aos harmónicos de **sequência positiva**, estes possuem a mesma sequência de fases da componente fundamental, são constituidos por três fasores de igual módulo e desfasados de 120º entre eles.
- Os harmónicos de **sequência negativa** são em tudo semelhantes aos de ordem positiva, no entanto têm uma sequência de fases oposta à da componente fundamental.
- Os harmónicos de **sequência nula**, são os que possuem três fasores de igual módulo e não desfasados, tendo igual direcção o que provoca o aumento da corrente do neutro para o triplo da amplitude das fases. Estes harmónicos são os múltiplos de 3 (3º, 9º, 15º, etc…).

Os harmónicos de sequência nula são os que preocupam mais numa instalação, pois o facto de a corrente no neutro aumentar leva a que surjam diversos problemas para a instalação e equipamentos nela existentes.

3.2 Espectro harmónico

O espectro harmónico consiste na decomposição do sinal nas suas componentes harmónicas. Esta decomposição, normalmente, é efectuada até às ordens 25 a 30, tendo em conta que a frequência e a importância das ordens acima têm pouca relevância.

A decomposição é efectuada em gráficos de barras, no qual se consegue visualizar a ordem do harmónico e a % da componente fundamental existente.

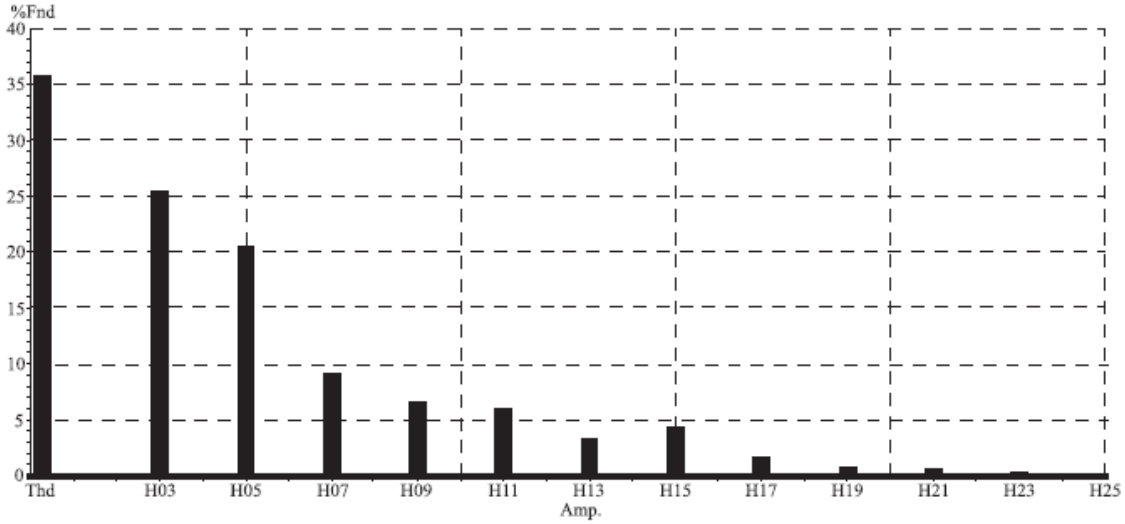


Figura 3.2 - Exemplo de um espectro harmónico [3]

3.3 Taxa de distorção Harmónica (THD)

A taxa de distorção harmónica é o indicador numérico que é quantificado em % e que define os harmónicos que estão presentes num determinado ponto. Esta taxa corresponde à taxa global de distorção harmónica. A THD é definida no standard IEEE 519:1992 [8], no qual se verifica que é o resultado da relação entre um valor eficaz dos harmónicos e o valor eficaz da componente fundamental, através da equação:

- $THD = \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} Y_n^2}}{Y_1} * 100$ (3.1)

Aplicando esta expressão aos casos particulares de corrente e tensão tem-se:

- Para a corrente - $THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$ (3.2)

- Para tensão - $THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{U_1}$ (3.3)

Estes dois indicadores são essenciais, pois com os mesmos consegue-se caracterizar a deformação da onda de corrente e tensão respectivamente. Os indicadores são regulamentados pela standard IEEE 519:1992 [8].

Para efectuar o estudo destes indicadores são utilizados os valores eficazes. O valor eficaz de uma determinada grandeza é determinado através da raiz quadrada do somatório dos quadrados das suas componentes:

- $Y = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} Y_n^2}$ (3.4)

Sendo que por exemplo para o caso da corrente tem-se:

- $I_{ef} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \cdots I_n^2}$ (3.5)

Sendo I_n o valor de corrente do harmónico de ordem n.

3.4. Factor de Potência

O factor de potência já foi mencionado no capitulo anterior, no entanto convém referir que existe uma relação entre o factor de potência e a taxa de distorção harmónica que é dada da seguinte forma:

- $P = P_{h1} = V_{h1} * I_{h1} * \cos\varphi$ (3.6)

Sendo o factor de potência:

- $FP = \frac{P}{S}$ (3.7)

Têm-se que:

- $FP = \frac{V_{h1} * I_{h1} * \cos\varphi}{V_{h1} * I_{ef}}$ (3.8)

Desenvolvendo a expressão chega-se a:

- $\frac{I_{h1}}{I_{ef}} = \frac{1}{\sqrt{1+THD_i^2}}$ (3.9)

E por fim obtêm-se a seguinte relação:

- $FP = \frac{1}{\sqrt{1+THD_i^2}}$ (3.10)

Verifica-se então que com THD_v=0, o factor de potência diminui com o aumento da taxa de distorção harmónica em corrente.

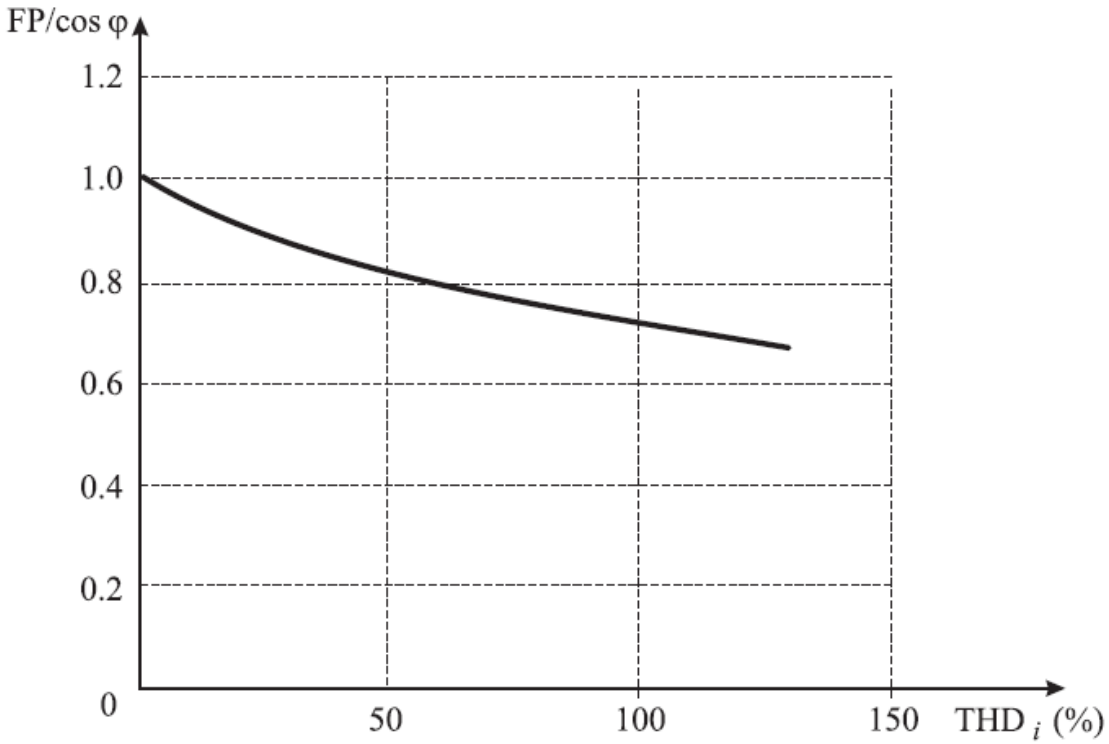


Figura 3.3 - Variação de FP/cosϕ em função da THD_i [3]

3.5. Factor de Pico (crista)

O factor de pico é o resultado da relação entre o valor de pico de tensão ou corrente e o valor eficaz que lhe corresponde.

- Para a tensão - $FP_v = \frac{V_{pico}}{V_{ef}}$ (3.11)
- Para a corrente - $FP_i = \frac{I_{pico}}{I_{ef}}$ (3.12)

Para sinais sinusoidais este valor é igual a $\sqrt{2}$. Quando os sinais, por algum motivo, deixam de ser sinusoidais, então este valor pode passar a ser superior ou inferior a $\sqrt{2}$.

3.6. Cargas geradoras de harmónicos

As instalações antigas, eram compostas essencialmente por cargas lineares. Actualmente tem-se vindo a verificar uma predominância de cargas não-lineares.

As correntes harmónicas são geradas pelas cargas não-lineares, que por sua vez, pela sua circulação geram tensões harmónicas e uma deformação na tensão de alimentação.

As cargas lineares são as cargas em que a forma de onda de tensão e corrente se mantêm sinusoidais. Geralmente este tipo de cargas são constituidas por resistências, indutâncias e capacitâncias.

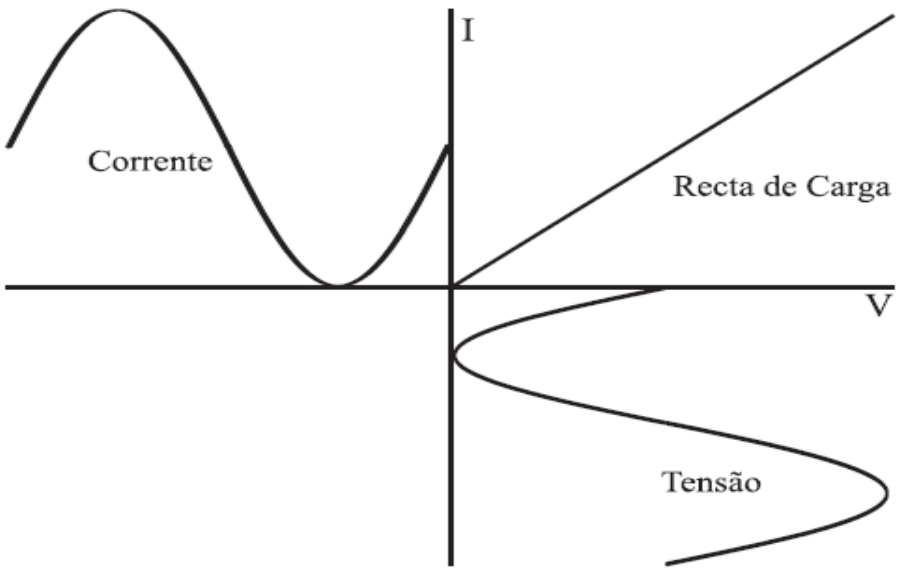


Figura 3.4 - Forma de onda de uma carga linear [3]

As cargas não-lineares correspondem às cargas que absorvem corrente com forma de onda distinta da forma de onda da tensão que as alimenta (sinusoidal). Este tipo de cargas são essencialmente constituidas por eletrónica de potência da qual fazem parte diodos, transistores e tiristores.

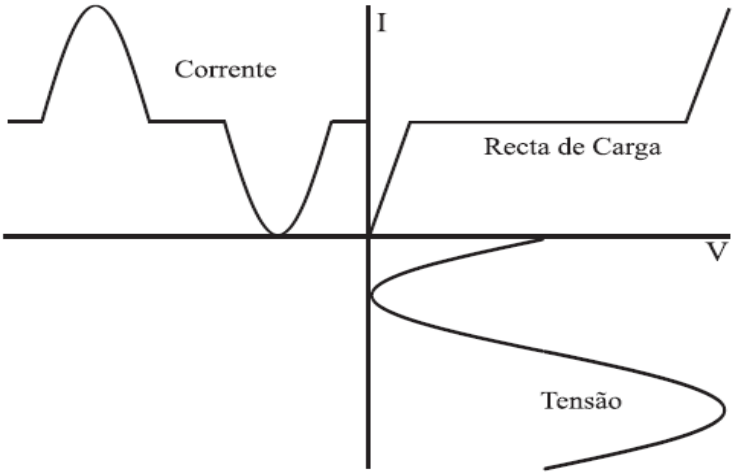


Figura 3.5 - Forma de onda de uma carga não-linear [3]

São exemplos de equipamentos cujas cargas são não-lineares:

- Equipamentos industriais (máquinas de solda);
- Inversores de frequência para motores assincronos ou motores de corrente continua;
- Computadores;
- Iluminação.

3.7. Efeitos e consequências dos Harmónicos

A existência de harmónicos numa instalação, é responsável pela ocorrência de perturbações cujos efeitos são indesejáveis quer para a instalação quer para as redes de energia eléctrica. Os harmónicos são essencialmente responsáveis pelo aumento dos custos de energia, envelhecimento dos materiais e perdas de produtividade.

As principais perturbações causadas pelos harmónicos são:

- Aquecimento dos condutores eléctricos;
- Sobreaquecimento dos condutores de neutro devido à soma dos harmónicos de 3ª ordem;
- Perturbações das redes de comunicação;
- Tensão elevada entre o neutro e terra;
- Aumento da queda de tensão e redução do factor de potência;
- Vibrações e acoplamentos;

- Ressonância dos condensadores de compensação de energia reactiva;
- Disparos de dispositivos de protecção;
- Sobreaquecimentos nos enrolamentos;
- Aumento das perdas (nos condutores, nas máquinas assincronas, nos transformadores, etc).

3.7.1. Aquecimento dos condutores eléctricos

O aquecimento dos condutores eléctricos é um dos principais problemas que surgem na sequência do aparecimento de harmónicos.

O facto de as ondas de corrente não serem sinusoidais, leva a que o seu valor eficaz tenha um valor superior. Tendo valores de corrente eficazes superiores e tendo em conta que as perdas no cobre variam com o quadrado da corrente, o valor das perdas também vai aumentar. Com a presença de harmónicos vai ocorrer um fenómeno que se designa de efeito pelicular e passa pelo seguinte:

- Quando ocorre o aumento da frequência da tensão ou corrente, passa a circular mais corrente na periferia do cabo provocando o aumento da resistência, que por sua vez irá provocar o aumento da temperatura do cabo e podendo até em situações extremas levar ao incêndio. A resistência de um determinado condutor pode também aumentar, dependendo dos condutores que se encontram ao seu lado, resultado dos campos magnéticos que se produzem.

3.7.2. Sobre-aquecimento dos condutores de neutro

Conforme já foi referido anteriormente, a presença de harmónicos de 3ª ordem e os seus múltiplos, tendo em conta que são de sequência nula, leva a um aumento muito superior ao esperado da corrente do condutor de neutro, sendo até superior aos valores das fases. Muitas vezes, para evitar estas situações, sobredimensionam-se os condutores de neutro, no entanto esta solução aumenta o custo da instalação.

3.7.3. Perturbações das redes de comunicações

A presença de harmónicos, gera nos sistemas condutores de correntes fracas, perturbações de ordem indutiva. A dimensão dessas perturbações depende de factores que podem influenciar a mesma, dos quais se salientam o tempo em que os cabos de potência e sinal se encontram em paralelo, da distância entre eles e também da frequência harmónica que existir na instalação.

3.7.4. Tensão elevada entre o neutro e a terra

Nos sistemas trifásicos, em que o neutro tem valores consideráveis de corrente, surge uma diferença de potencial entre o neutro e a terra, tendo em conta que o cabo é possuidor de impedância. Esta diferença de potencial é um grande problema para equipamentos electrónicos e informáticos, uma vez que provoca o seu mau funcionamento.

3.7.5. Aumento da queda de tensão e redução do factor de potência

Como já foi referido, a presença de harmónicos leva à diminuição do factor de potência. O abaixamento do factor de potência leva a que aumentem as perdas da instalação e por sua vez a uma diminuição do seu rendimento.

3.7.6. Vibrações e acoplamento

Com a presença de harmónicos, dependendo da sua ordem, irá haver um aumento das frequências. Estes valores de frequência dos harmónicos, poderão levar ao aparecimento de interferências electromagnéticas que por sua vez irão interagir com equipamentos, com os alternadores e os motores, provocando vibrações. Estes problemas podem também verificar-se em quadros elétricos, em transformadores e em acoplamentos em redes de comunicações, através de vibrações que não são perceptiveis em instalações sem harmónicos.

3.7.7. Ressonância dos condensadores de compensação de energia reactiva

Um dos problemas que surge nas instalações, é o fenómeno de ressonância. Este fenómeno surge após instalação de baterias de condensadores. As baterias de condensadores sendo colocadas em paralelo com a indutância da instalação eléctrica, podem amplificar determinados sinais de frequência levando à diminuição do tempo de vida útil dos mesmos, ou até à sua explosão.

3.7.8. Disparos nos dispositivos de protecção

As elevadas taxas de distorção harmónica, são muitas vezes responsáveis quer pelo não funcionamento dos dispositivos de corte, quer pelo disparo intempestivo de dispositivos de protecção diferencial. A dificuldade em que os dispositivos de corte funcionem, deve-se ao facto de as componentes de alta frequência, como possuem variações rápidas aquando da sua passagem por zero, dificultarem o seu corte. Quanto ao accionamento intempestivo das protecções diferenciais deve-se ao facto de a presença de harmónicos provocar um aquecimento dos condutores, que por sua vez leva à actuação das respectivas protecções.

3.7.9. Sobreaquecimentos nos enrolamentos

Tendo em conta as elevadas frequências, resultantes da presença de harmónicos e às correntes "parasitas" que surgem, originam nos transformadores e motores sobreaquecimentos nos enrolamentos e no núcleo.

3.7.10. Aumento das perdas (nos condutores, nas máquinas assincronas, nos transformadores)

Uma das principais causas do aumento das perdas nas instalações são a presença dos harmónicos. As perdas por efeito de Joule, que resultam da indução das correntes harmónicas nos condutores e equipamentos, têm a sua génese nas perdas energéticas suplementares. O aumento das perdas nos condutores já foi referenciado anteriormente. Quanto ao aumento das perdas nos motores, é perceptivel através do seu aquecimento e um aumento fora do normal do seu ruído. Estes problemas são provocados pelo aumento das perdas no cobre e no ferro que afectam directamente o rendimento do motor e o binário do mesmo. Esta situação, caso se verifique durante longos periodos, leva à diminuição do rendimento e tempo de vida útil do motor.

Nos transformadores, a presença de harmónicos leva também ao aumento das perdas. A presença de harmónicos de tensão leva ao aumento das perdas no ferro e a presença de harmónicos de corrente provocam o aumento das perdas no cobre. As perdas no ferro são provocadas pelo efeito pelicular e as perdas no cobre podem ocorrer de duas formas:

- Perdas por histerese;
- Perdas por correntes de Foucault.

Sendo que as perdas por correntes de Foucault são obtidas através do somatório das perdas provocadas pela componente fundamental e pelas componentes harmónicas e as perdas por histerese são calculadas através da seguinte expressão:

- $P_{hist} = K_{hist} * f * B_{max}^{n}$ (3.13)

Em que:

- B_{max} – é a indução máxima;
- K_{hist} – constante de proporcionalidade (depende das caracteristicas e volume do ferro e das unidades utilizadas);
- f - frequência;

sendo n normalmente igual a 2.

3.8. O impacto económico resultante da presença de harmónicos

Os problemas relacionados com a presença de harmónicos, levam a um impacto económico que nem sempre se consegue quantificar e identificar. No entanto existem diversas situações que são possiveis de constatar e analisar:

- **O aumento das perdas por efeito de Joule -** estas perdas têm origem de perdas energéticas suplementares;

- **O aumento dos custos energéticos –** o facto de existirem harmónicos leva a que seja necessário um nivel de potência superior, sendo aumentado o custo de contratação, junto das entidades fornecedoras;

- **A necessidade de sobredimensionamento de materiais** – tendo em conta a presença de harmónicos e as perdas que os mesmo originam, torna-se necessário aumentar a secção dos condutores, para permitir a passagem das correntes harmónicas, diminuindo as perdas por efeito de Joule. Com a presença de harmónicos de 3ª ordem, a corrente de neutro aumenta, levando a que o condutor de neutro seja sobredimensionado.

- **Diminuição do tempo de vida útil dos equipamentos/materiais** – a presença de harmónicos leva a uma diminuição da vida útil dos equipamentos, sendo que com taxas de distorção acima dos 10 %, muitos dos fabricantes, estimam que a redução do tempo de vida útil de uma máquina monofásica será reduzida em cerca de 32%, o de uma máquina trifásica 18% e o de um transformador 5%.

- **Ocorrência de disparos intempestivos levando à paragem de instalações** – estas paragens intempestivas, para além de em alguns casos parar a produção de algumas fábricas, levando a prejuizos de produção, provoca também o desgaste dos aparelhos de corte, que por sua vez leva à redução do seu tempo de vida útil.

3.9. Como lidar com a presença de harmónicos

A presença de harmónicos, como já foi referido, é hoje uma realidade, sendo então uma necessidade a sua análise e correcção, para que as instalações sejam cada vez mais "limpas" e eficientes. Surge então a necessidade, após análise, da correcção destes problemas. Existem algumas formas de correcção que passam por:

- Dimensionamento dos condutores de neutro;
- Dimensionamento de transformadores;
- Dimensionamento de filtros de harmónicos.

Quanto ao dimensionamento de condutores de neutro, este deve ser tido em conta quando se dimensiona a instalação, pois as regras técnicas das instalações eléctricas, permitem que a secção de neutro não seja igual à secção das fases (seja inferior). No entanto esta situação tem em conta as instalações sem harmónicos, pois em caso de presença de harmónicos de 3ª ordem ou múltiplos, a corrente de neutro irá então aumentar e será necessário que a sua secção seja superior. Esta situação poderá levar, em algumas situações, à necessidade de substituição do condutor de neutro, para evitar sobreaquecimentos e danos consequentes. Essencialmente o problema da secção do neutro, deverá ser avaliado na fase de projecto, na qual se deve verificar a existência ou não de equipamentos com cargas não-lineares e em caso da sua presença, o condutor de neutro deverá ter secção igual às fases.

Quanto ao dimensionamento de transformadores, estes são dimensionados em função de uma instalação possuir apenas cargas lineares, no entanto é necessário, devido à circulação de correntes harmónicas, calcular um índice de desclassificação que se denomina de índice "K". O facto de este índice não ser considerado, leva a que o transformador possa sofrer de aquecimentos e por sua vez que surjam avarias. O índice "K" é o valor que indica quanto se deve reduzir a potência de saída do transformador na presença de harmónicos.

O factor "K" é:

- $K = \frac{I_{pico}}{I_{rms}\sqrt{2}}$ (3.14)

Passando, então, a potência máxima fornecida pelo transformador a ser dada por:

- $S_{máx} = \frac{S_{nom}}{\mathrm{K}}$ (3.15)

Existem equipamentos que permitem medir o factor "K" de desclassificação, sabendo depois, que quanto maior for o factor de desclassificação, menor será a potência máxima fornecida pelo transformador. Os transformadores serão abordados também no ponto seguinte de filtros harmónicos.

Quanto aos filtros harmónicos, são os equipamentos que são muito utilizados na compensação da distorção provocada pelos harmónicos, para obter taxas de distorção aceitáveis relativamente à regulamentação em vigor. Este assunto será também alvo de análise no ponto seguinte de filtros harmónicos.

3.10. Filtros de harmónicos

Na sequência do aparecimento das perturbações harmónicas, surgiu a necessidade de arranjar medidas correctivas para eliminar/mitigar os problemas provocados pela sua existência. Neste sentido existem 4 tipos de abordagens que passam pela utilização de diversas topologias de filtros [2] [3] [9] [10]:

- Filtro passivo (LC);

- Filtro Activo
  - Paralelo;
  - Série;
- Filtro Activo hibrido;
- Filtro Activo Universal;

Na figura seguinte apresenta-se um sistema sem compensação, onde se podem verificar as perturbações nas tensões e correntes da instalação.

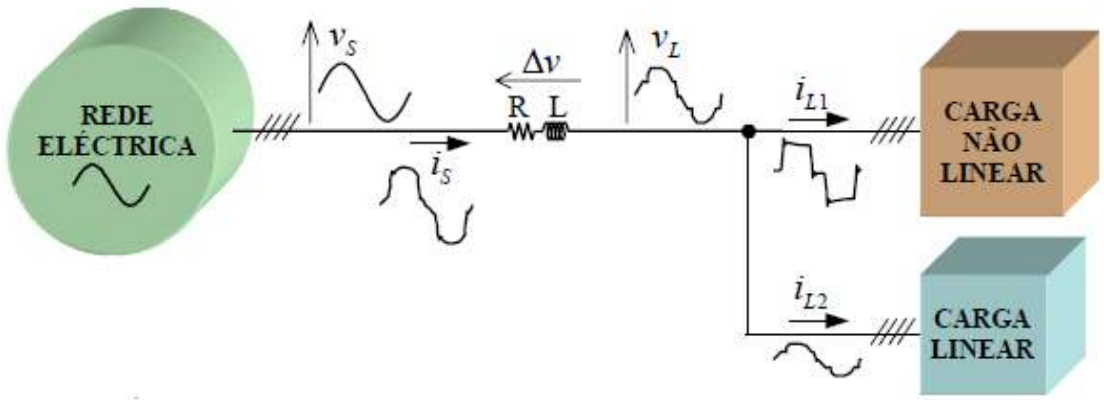


Figura 3.6 - Sistema sem qualquer compensação [9]

3.10.1. Filtro Passivo (LC)

Este filtro é essencialmente constituido por uma indutância e um condensador, sendo normalmente instalado em paralelo com a fonte. Este filtro é projectado de forma a que a impedância do filtro seja nula para a frequência que se pretende eliminar e pequena para as restantes frequências.

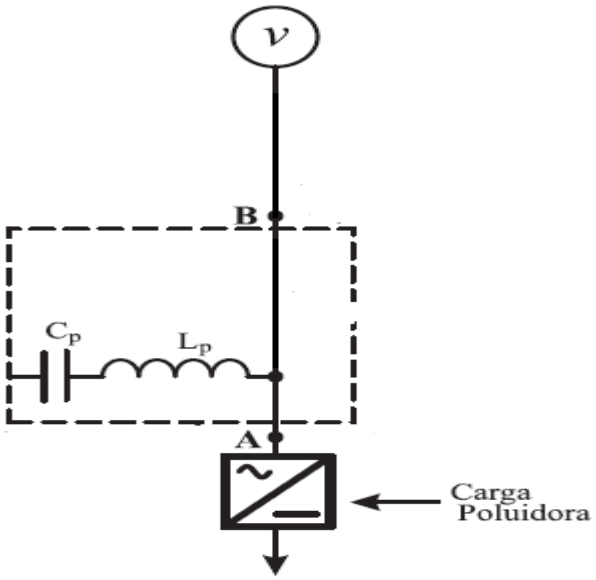


Figura 3.7 - Filtro passivo LC não compensado [3]

Por vezes é necessário colocar uma indutância (La) em paralelo como forma de evitar que o gerador tenha que ser sobredimensionado para compensar a quantidade de energia reactiva capacitiva da instalação e por sua vez evita também que o gerador tenha que efectuar arranques para esta mesma compensação. Este tipo de filtro é assim utilizado apenas nos casos da necessidade de haver uma fonte de energia auxiliar (ex: Grupo Gerador , UPS).

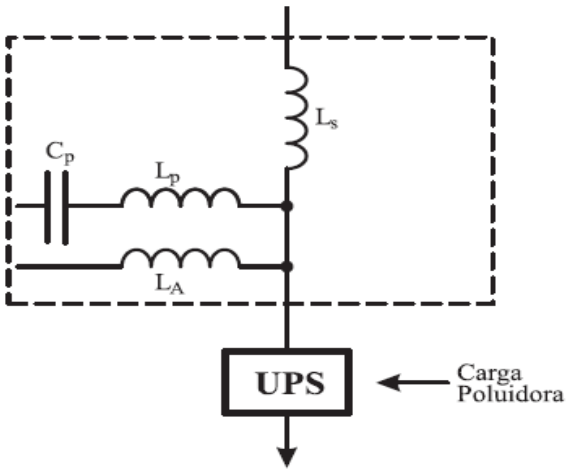


Figura 3.8 - Filtro passivo LC compensado [3]

Apesar deste tipo de filtro ter um desempenho bastante satisfatório quando aplicado, o mesmo apresenta diversas limitações:

- Tendo em conta a forma como é projectado, o mesmo apenas consegue eliminar uma frequência de sinal, sendo que, se a instalação tiver uma banda alargada de sinais não é útil a instalação deste filtro;
- Interage com a rede, o que provoca elevados riscos de ressonância e por sua vez os condensadores instalados podem ser danificados;

- Não permite que haja variações de carga. Em caso de haver variação terá que ser redimensionado;
- Tem geralmente grandes dimensões (bobine) o que limita a sua utilização a pequenas potências.

As vantagens da utilização deste tipo de filtros são:

- São simples e fáceis de instalar, obtendo-se resultados satisfatórios;
- Pode-se sempre acrescentar indutâncias de compensação em qualquer momento;
- Este filtro consegue um aumento do factor de potência devido ao condensador existente;
- Apesar de ter perdas, estas são muito reduzidas e são provocadas pela indutância.

3.10.2. Filtros Activos

Existem 4 tipos de filtros activos, sendo eles: o paralelo, o série, o híbrido e o universal. O filtro activo paralelo é normalmente utilizado para compensar os harmónicos de corrente, o série para compensar os harmónicos de tensão, o híbrido, que é constituido por filtros activos e passivos, visa compensar os defeitos de ambos os filtros tornando-se mais eficazes e por fim o universal. O filtro universal é constituido por filtros activos paralelo e série, conseguindo assim abranger os problemas e as vantagens que cada um deles individualmente possui. Em muitas instalações é dificil de prever a tipologia de harmónicos devido à constante mudança dos equipamentos instalados, pelo que surge a necessidade de instalação de filtros activos, que funcionam como compensadores activos de harmónicos, adaptando-se ao instante e compensando uma vasta gama de ordens de harmónicos em simultâneo.

O principio de funcionamento dos filtros activos passa pela existência de um transformador de corrente para efectuar a medição da corrente da carga, controlando depois um gerador de corrente que irá gerar uma corrente de igual módulo e sinal contrário, para assim a conseguir anular. Os filtros activos são essencialmente constituidos por um controlador e por um inversor, cuja constituição são basicamente IGBT (Transístor Bipolar de Porta Isolada).

3.10.2.1. Filtro activo paralelo

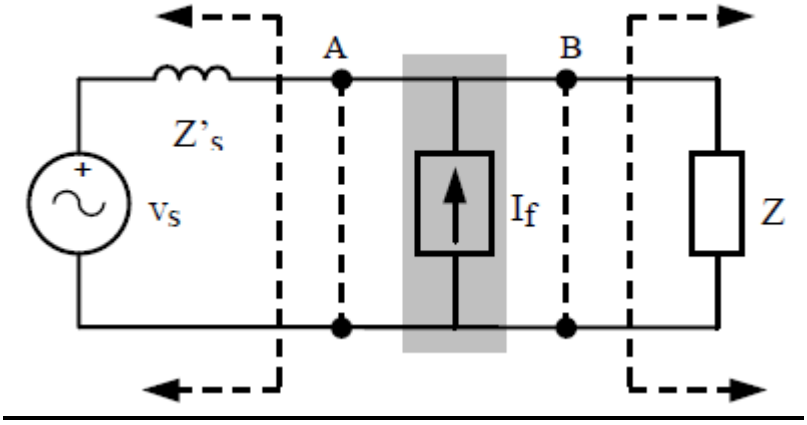


Figura 3.9 - Filtro activo paralelo [10]

Conforme já foi referido os filtros activos paralelo têm como principal função compensar os harmónicos de corrente, no entanto estes filtros permitem também compensar a energia reactiva e equilibrar as correntes de um sistema trifásico, reduzindo a corrente do neutro (geralmente gerada pelo 3º harmónico).

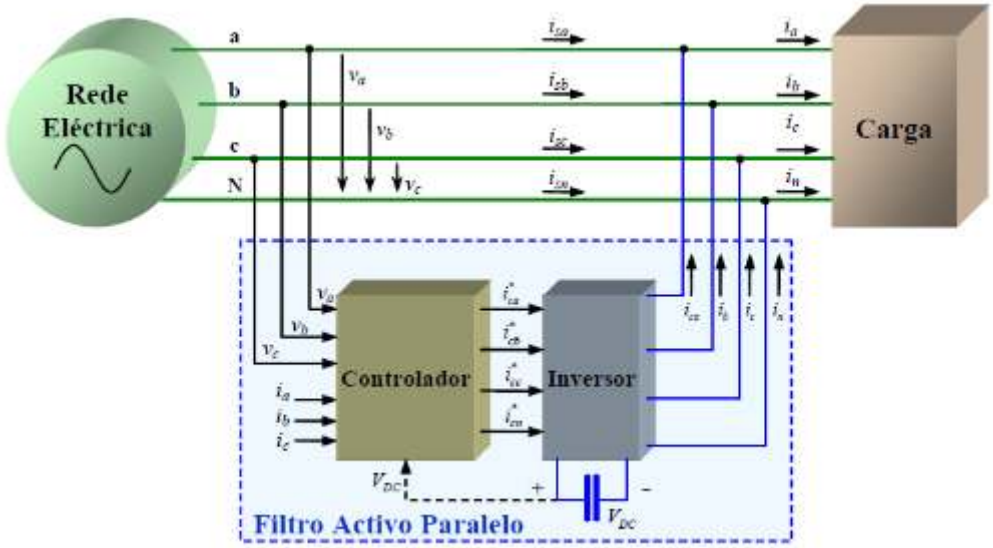


Figura 3.10 - Principio de funcionamento filtro activo paralelo [9]

Este tipo de filtro possui um princípio de funcionamento baseado nos seguintes pontos:

1. O controlador mede as tensões e correntes (por fase) da rede;
2. O controlador calcula as correntes de referência da rede (fases e neutro);
3. O inversor recebe as correntes de referência e gera as correntes necessárias (em largura e frequência necessária).

Com este princípio, o filtro permite compensar as correntes existentes na rede, tornando-as sinusoidais.

Nos filtros activos paralelo pode-se considerar 4 tipos, estando estes dependentes do tipo de entrada (fonte de corrente ou tensão) e do tipo de inversor (inversor de corrente ou tensão):

a) Filtro activo paralelo com inversor de tensão e entrada em tensão;
b) Filtro activo paralelo com inversor de corrente e entrada em tensão;
c) Filtro activo paralelo com inversor de tensão e entrada em corrente;
d) Filtro activo paralelo com inversor de corrente e entrada em corrente.

3.10.2.1.1. Filtro activo paralelo com inversor de tensão e entrada em tensão

Este tipo de filtro é criado para eliminar a circulação de correntes harmónicas nas fontes.

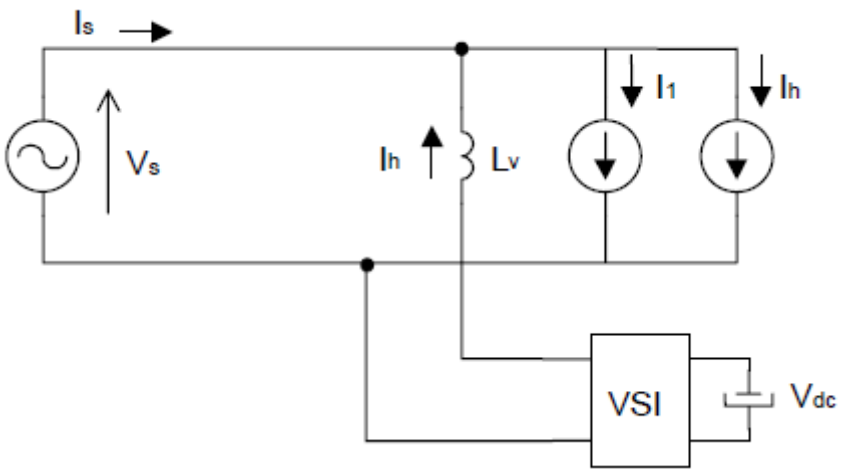


Figura 3.11 – Filtro activo paralelo com inversor de tensão e entrada em tensão [10]

Da análise da figura, pode-se verificar que o filtro é controlado para que seja gerada uma corrente I_h necessária inicialmente à fonte de alimentação. Verifica-se também que possui à entrada uma fonte de tensão V_{dc} e uma carga que é dividida na componente fundamental I_1 e na componente harmónica I_h.

3.10.2.1.2. Filtro activo paralelo com inversor de corrente e entrada em tensão

Este tipo de filtro é também criado para eliminar a circulação de correntes harmónicas nas fontes. O funcionamento deste filtro é semelhante ao anterior (a), possui uma entrada (fonte) e uma saída (carga) iguais ao modelo anterior. Existe também o inversor de corrente que funciona como uma fonte de corrente que é garantida pela indutância L_t que deverá ter valores elevados. Com este filtro gera-se então uma corrente I_h de compensação.

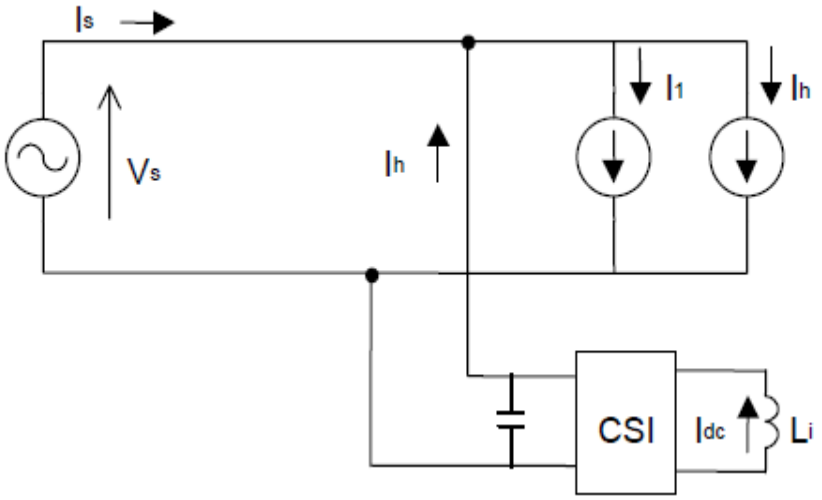


Figura 3.12 – Filtro activo paralelo com inversor de corrente e entrada em tensão [10]

3.10.2.1.3. Filtro activo paralelo com inversor de tensão e entrada em corrente

Nesta tipologia de filtro é invertida a fonte com a carga, relativamente aos filtros anteriores (a e b) (carga V_0 ; fonte I_{s1} e I_{sh}). Este filtro possui um inversor de tensão igual ao de a) e é controlado de forma a conseguir absorver a corrente harmónica I_{sh} deixando apenas I_{s1}. Com este filtro consegue-se também impedir a circulação da corrente harmónica na carga.

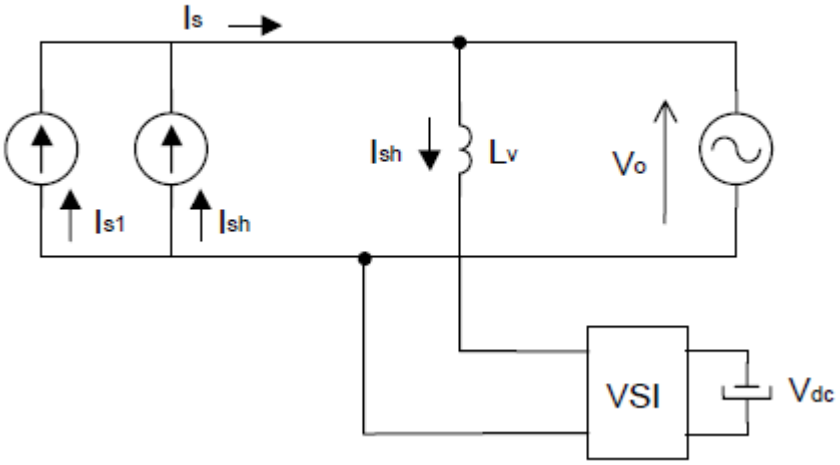


Figura 3.13 – Filtro activo paralelo com inversor de tensão e entrada em corrente [10]

3.10.2.1.4. Filtro activo paralelo com inversor de corrente e entrada em corrente

Este filtro tem também como objectivo impossibilitar a passagem da corrente Ish na carga. Quanto ao seu funcionamento e constituição, este tem tal como o filtro c) a fonte e a carga invertidas e possui também o inversor de corrente como em a).

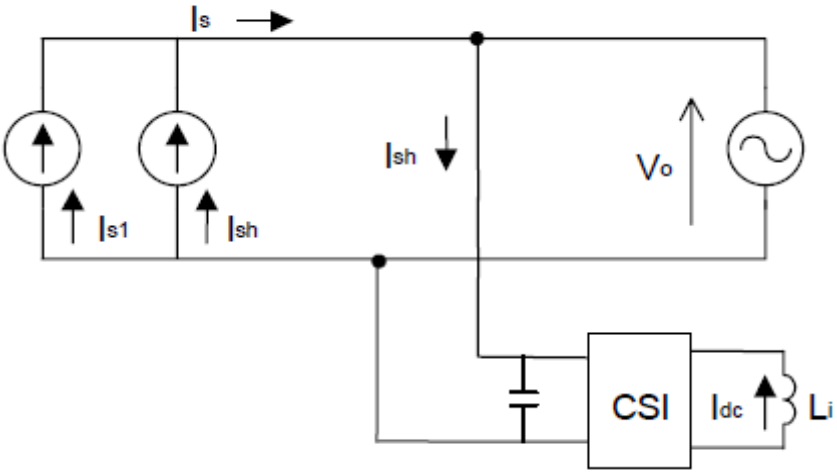


Figura 3.14 – Filtro activo paralelo com inversor de corrente e entrada em corrente [10]

3.10.2.2. Filtro activo série

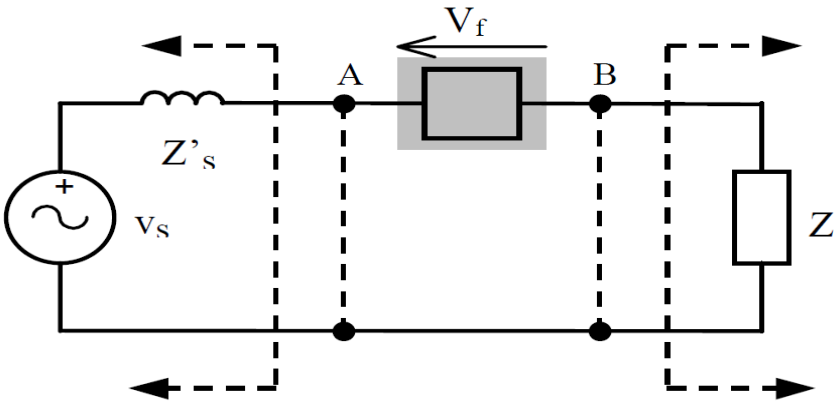


Figura 3.15 - Filtro activo série [10]

O filtro activo série é normalmente utilizado para compensar os harmónicos de tensão de uma instalação. Este tipo de filtro consegue também, através da sua fonte interna, compensar sobretensões, subtensões e interrupções momentâneas.

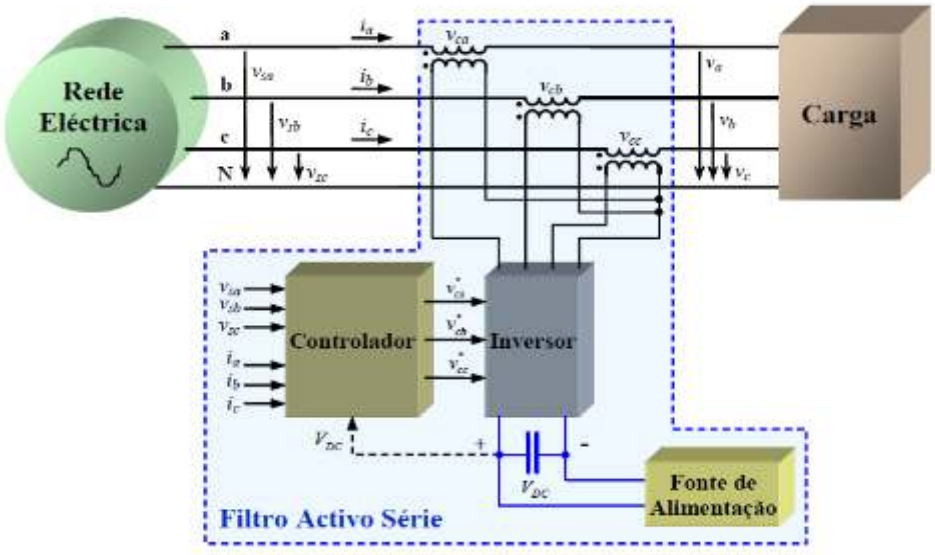


Figura 3.16 - Principio de funcionamento filtro activo série [9]

O princípio de funcionamento baseado nos seguintes pontos:

1. O controlador mede as tensões (entre a fase e o neutro) e as correntes (das fases);
2. O controlador calcula as tensões de referência;
3. O inversor é alimentado por uma fonte de corrente contínua e gera as tensões necessárias (em largura e frequência);
4. As tensões são introduzidas no sistema através de transformadores de isolamento.

Com este princípio, o filtro permite compensar as tensões existentes na carga tornando-as sinusoidais. À semelhança dos filtros activos paralelos e tendo por base os mesmos, existem também 4 tipos de filtros activos série:

a) Filtro activo série com inversor de tensão e entrada em tensão;

b) Filtro activo série com inversor de corrente e entrada em tensão;

c) Filtro activo série com inversor de tensão e entrada em corrente

d) Filtro activo série com inversor de corrente e entrada em corrente.

3.10.2.2.1. Filtro activo série com inversor de tensão e entrada em tensão

Este filtro tem como fonte V_{s1} e V_{sh} e como carga I_0. Com ele pretende-se que o inversor faça circular uma corrente harmónica no condensador C_a , que provoque o aparecimento de uma tensão V_{ca} e que seja de igual módulo e em oposição de fase a V_{sh} ,anulando-a. Com este filtro evita-se que a distorção harmónica gerada na fonte, seja transmitida à carga.

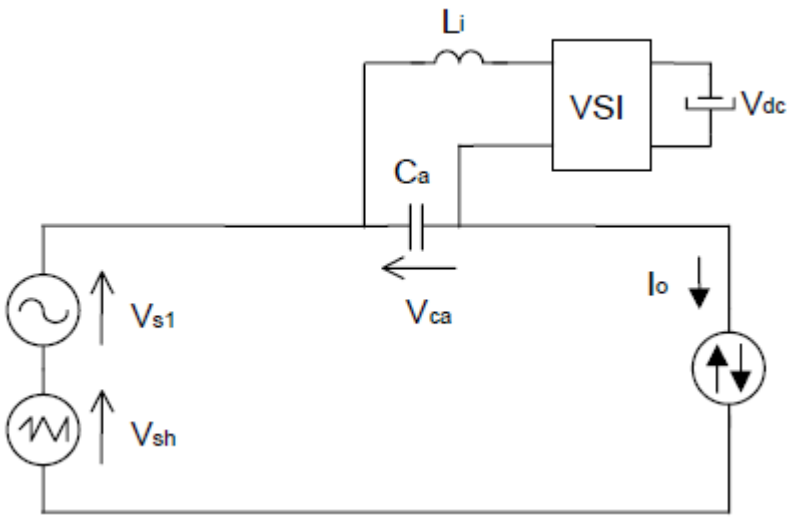


Figura 3.17 – Filtro activo série com inversor de tensão e entrada em tensão [10]

3.10.2.2.2. Filtro activo série com inversor de corrente e entrada em tensão

Neste filtro as fontes são V_{S1} (componente fundamental) e V_h (componente harmónica) e a carga é I_0. Com este filtro pretende-se que seja gerada uma corrente que irá circular pelo condensador C_a, gerando uma tensão V_{ca} e estando em oposição de fase, anulando-se. Este filtro também pretende que as distorções geradas na fonte não perturbem a carga.

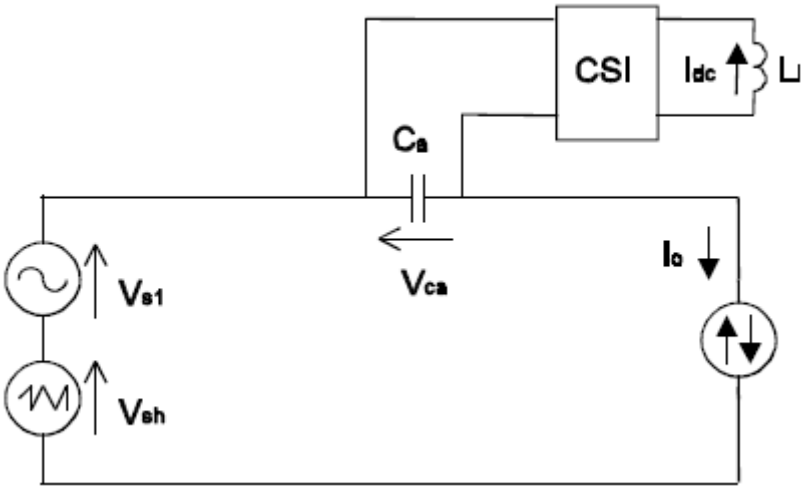


Figura 3.18 – Filtro activo série com inversor de corrente e entrada em tensão [10]

3.10.2.2.3. Filtro activo série com inversor de tensão e entrada em corrente

Este filtro visa o objectivo de evitar que a distorção se propague da carga para a fonte. O seu funcionamento leva a que surja uma tensão V_{ca} no condensador Ca que irá anular a tensão V_h.

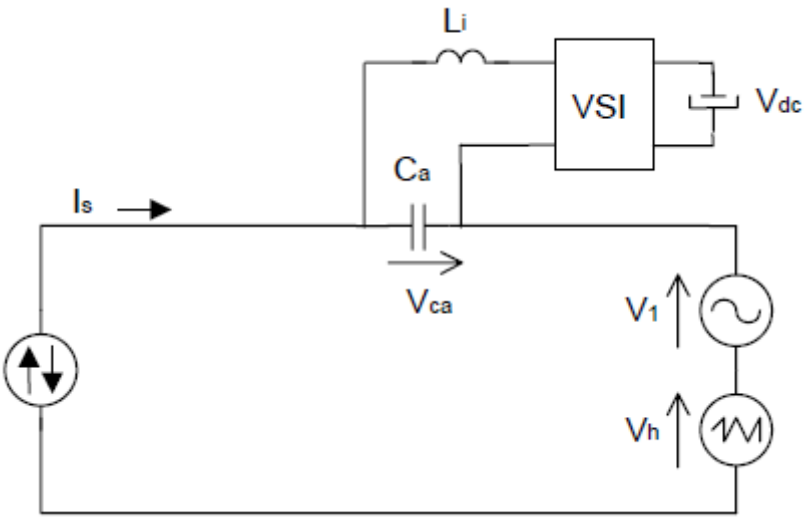


Figura 3.19 – Filtro activo série com inversor de tensão e entrada em corrente [10]

3.10.2.2.4. Filtro activo série com inversor de corrente e entrada em corrente

Neste filtro verifica-se então a existência da fonte de corrente sinusoidal Is (fonte), as fontes de tensão em série V_1 e V_h (carga). O inversor irá fazer circular uma corrente harmónica no condensador C_a que por sua vez irá provocar o aparecimento de uma tensão igual a V_h mas de sinal contrário. Com este filtro evita-se que haja distorção de tensão sobre a fonte, proveniente da carga.

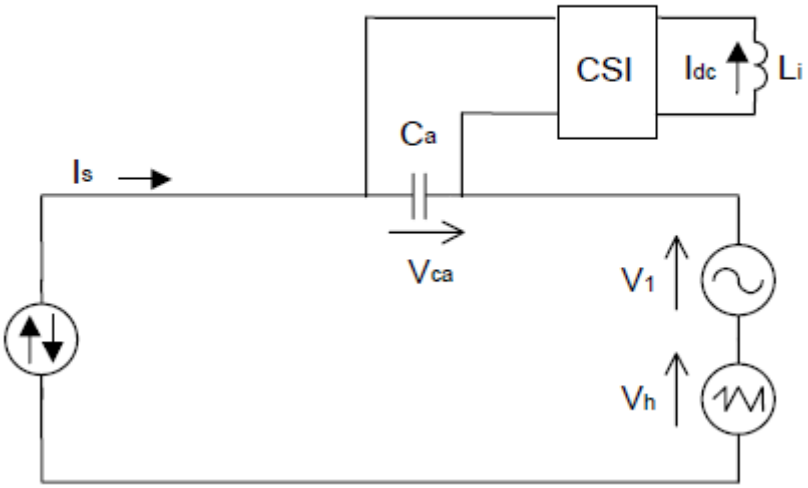


Figura 3.20 – Filtro activo série com inversor de corrente e entrada em corrente [10]

3.10.3. Filtro activo híbrido

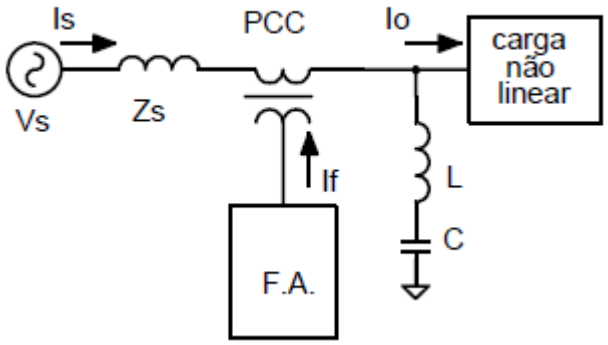


Figura 3.21 - Filtro activo híbrido [10]

Estes filtros combinam os filtros activos (série/paralelo) com os filtros passivos. Os filtros activos, apesar de serem, de certa forma, melhores do que os passivos, também apresentam lacunas que se conseguem eliminar/mitigar com a junção do filtro passivo. Com esta junção conseguem-se melhores resultados do que com cada um deles separadamente.

No exemplo apresentado verifica-se que existe um filtro activo (em série) com um passivo (em paralelo), sendo que normalmente se projecta para que o filtro activo elimine uma grande parte das correntes (menores amplitudes), deixando as correntes de maior amplitude para o filtro passivo.

3.10.4. Filtro activo universal

Este tipo de filtro é constituido por filtros activos paralelo e série. Com estes filtros conseguem-se compensar correntes e tensões simultaneamente. Normalmente o filtro é projectado para compensar uma largura de banda harmónica do 2º ao 25º harmónico e pode ser instalado em qualquer ponto da instalação.

Os filtros podem ser instalados em três pontos distintos:

1. Localmente (nas cargas);
2. Nos quadros de distribuição (quadros parciais);
3. No quadro geral de baixa tensão (QGBT).

Idealmente , estes filtros devem ser instalados junto das cargas, evitando que as correntes harmónicas circulem na instalação, que por sua vez leva a uma diminuição das perdas de joule nos cabos.

3.10.5. Transformadores de separação ou isolamento

Com o aparecimento de harmónicos nas instalações, surgiu a necessidade de aproveitar em determinadas condições, as caracteristicas dos transformadores, para se conseguir efectuar o isolamento das cargas relativamente às fontes. Assim sendo, numa determinada instalação, consegue-se o isolamento das cargas poluidoras de toda a restante instalação e evitam-se todos os problemas já referenciados. Os transformadores, sendo utilizados para efectuar a mudança/transformação de tensão e corrente são também utilizados como forma de alteração do regime de neutro e agora servem também para eliminação/mitigação de harmónicos. Dependendo da ordem de harmónicos existentes, deve ser estudado que tipo de transformador deve ser utilizado, ou seja, o transformador não será um meio de correcção convencional, mas sim, dependendo da ordem de harmónicos existentes, deve ser escolhida a forma de ligação dos enrolamentos do primário e secundário do mesmo. Os transformadores de isolamento, servem então para mitigar/eliminar os seguintes tipos de harmónicos:

- Transformadores de separação/isolamento para o 3º harmónico e seus múltiplos;
- Transformador de separação/isolamento para o 5º e 7º harmónicos e seus múltiplos.

3.10.5.1. Transformadores de separação/isolamento para o 3º harmónico e seus múltiplos

A utilização de transformadores de isolamento na mitigação do 3º harmónico e seus múltiplos é bastante frequente. Normalmente possuem ligação Δ/y, em que os harmónicos irão circular pelos enrolamento em Δ do transformador, permitindo isolar as cargas poluidoras da restante rede. Existe também quem faça esta correcção com transformadores com configuração em zigue-zague, mais conhecido por auto-transformadores com configuração em estrela, tendo os enrolamentos em paralelo com a fonte de alimentação, no entanto o mais utilizado é o Δ/y. O transformador Δ/y é então aconselhado para instalar em locais com predominância de cargas monofásicas e com grande poluição harmónica ao nivel do 3º harmónico, dos quais se pode salientar os equipamentos informáticos e os electrodomésticos. Na figura 3.22 mostra-se uma imagem, na qual se pode verificar que tendo cargas poluidoras a jusante do transformador, os harmónicos (3ª ordem e múltiplos) não conseguirão circular a montante do mesmo.

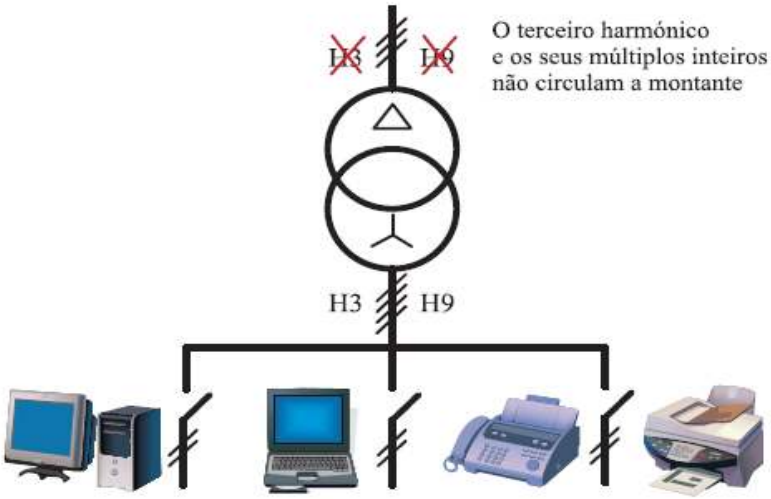


Figura 3.22 - Transformador de separação/isolamento na eliminação do 3º harmónico e múltiplos [3]

3.10.5.2. Transformador de separação/isolamento para o 5º e 7º harmónicos e seus múltiplos

Nas instalações cujas cargas são predominantemente trifásicas, os harmónicos de 5ª e 7ª ordem existem em maior número. Para a mitigação destas ordens de harmónicos existem duas tipologias utilizadas:

- Utilização de um transformador com duplo enrolamento secundário;
- Utilização de dois transformadores com ligações distintas;

A utilização de um transformador com duplo secundário permite obter um desfasamento de 30º entre enrolamentos e a utilização de dois transformadores também permite um desfasamento de 30º entre tensões. Estes desfasamentos vão permitir que as correntes harmónicas, no secundário dos transformadores, estejam desfasadas, somando-se no primário e por sua vez colocando os harmónicos de 5ª e 7ª ordem em oposição de fase relativamente ao secundário, anulando-se. A tipologia de cargas em que se deve utilizar este tipo de transformadores deverá ser trifásica, sendo exemplo os variadores velocidade. Na figura 3.23 podem-se verificar as formas de instalação destes tipos de transformadores em que os harmónicos são eliminados a montante do transformador.

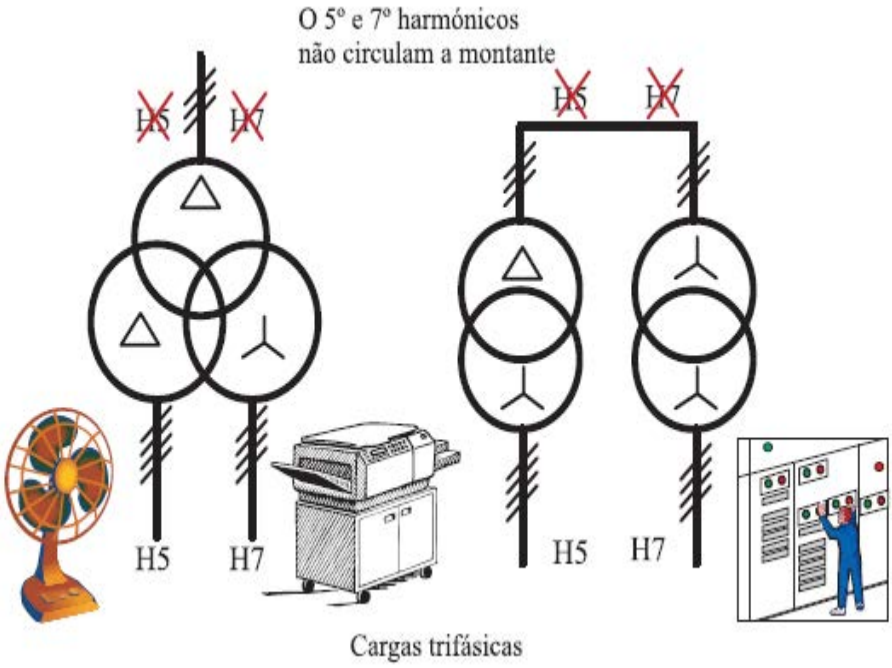


Figura 3.23 - Transformador de separação/isolamento na eliminação do 5º, 7º harmónicos e múltiplos [3]

Capitulo 4

Auditorias energéticas e Descrição da Instalação

Tendo em conta os aumentos constantes dos consumos energéticos a nível nacional, surgiu a necessidade de criar legislação e formas de controlar os consumos, tornando os edifícios novos cada vez mais eficientes e através de medidas adicionais tornar os edifícios existentes melhores em termos de eficiência energética. Convém também perceber o significado dos seguintes termos:

- Eficiência energética – é a relação entre os bens e/ou energia gerada e a energia utilizada para a obtenção desse resultado;

- Melhoria da eficiência energética – resulta de alterações tecnológicas, comportamentais e económicas que por sua vez levam a um aumento da eficiência da instalação.

Para comprovar/analisar de forma sucinta e eficaz, foram criadas as auditorias energéticas. As auditorias energéticas são um processo sistemático no qual se efectuam propostas de melhoria e se quantificam os custos/benefícios das mesmas. As auditorias energéticas estão divididas em dois grandes tipos:

- Auditoria energética à indústria;
- Auditoria energética aos edifícios.

A auditoria energética à indústria encontra-se regulamentada pelo sistema de gestão dos consumos intensivos de energia (SGCIE), no decreto-lei nº 71/2008 de Abril de 2008 [11], que visa a promoção da eficiência energética através da monitorização dos consumos energéticos dos grandes consumidores de energia.

Quanto às auditorias energéticas de edifícios, estão reguladas por três decretos-lei:

- DL 78/2006 de 4 Abril de 2006 – este decreto-lei visa assegurar uma constante melhoria ao nível do desempenho energético e de qualidade de ar interior dos edifícios. O decreto-lei regulamenta o sistema nacional de certificação energética [12].

- DL 79/2006 de 4 Abril de 2006 – este decreto-lei visa publicar o regulamento dos sistemas energéticos de climatização dos edifícios (RSECE), transpondo também para a legislação portuguesa a Directiva 2002/91/CE cujo conteúdo se refere ao desempenho energético dos edifícios [13].

- DL 80/2006 de 4 Abril de 2006 – este decreto-lei consiste na aprovação do regulamento das características do comportamento térmico dos edifícios (RCCTE) [14].

Com esta legislação pretende-se que o consumo energético dos edifícios seja limitado, que se aumente a utilização das energias renováveis, que a eficiência energética e qualidade de ar interior seja melhorada e no final tem como comprovação/verificação a emissão de um certificado energético.

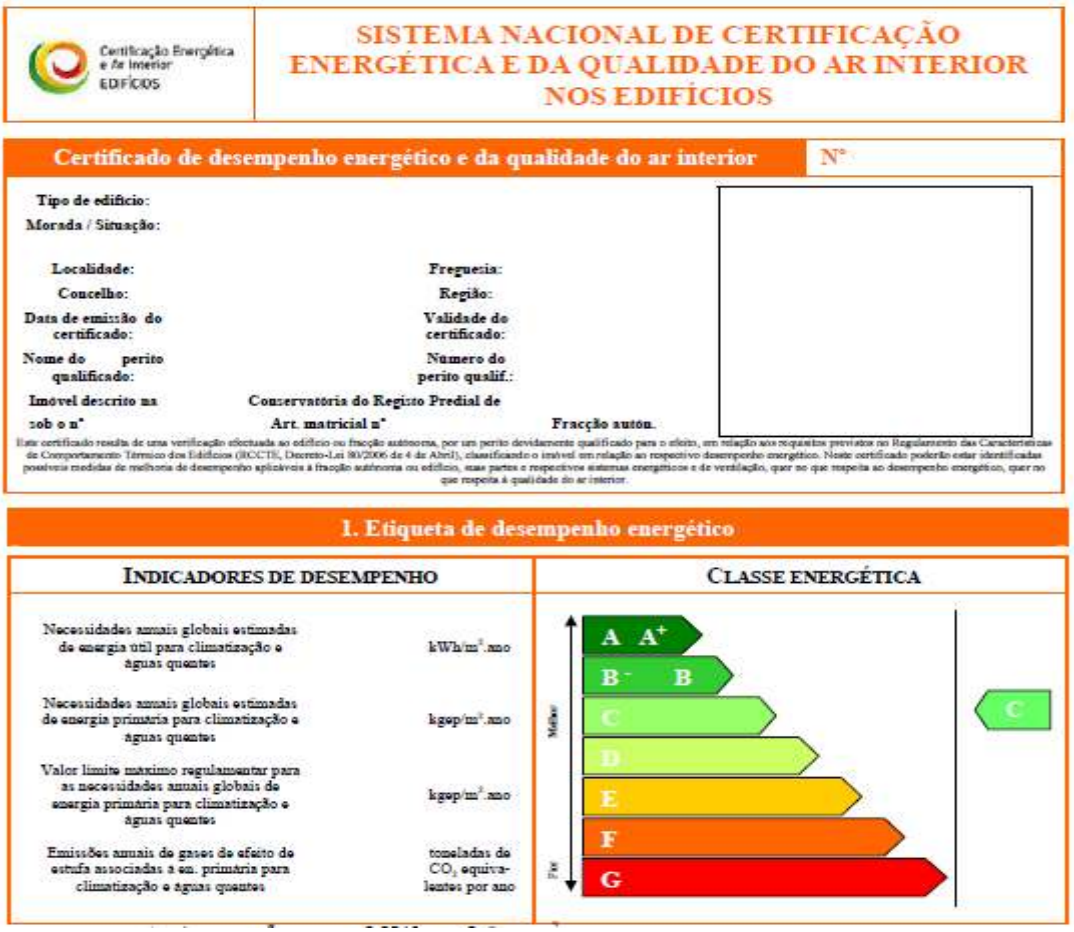


Figura 4.1 - Exemplo de certificado energético [15]

4.1. Objectivos de uma auditoria energética

Uma auditoria energética tem como principais objectivos efectuar uma análise de um determinado edifício em termos da forma como é utilizada a energia, conseguindo também através desta análise ter uma listagem de medidas que poderão levar à redução do consumo. Tendo em conta a legislação já referenciada, com a auditoria energética pretende-se que passe a:

- Existir uma verificação periódica dos consumos reais nos edifícios;
- Conseguir definir as condições de conforto térmico para cada tipologia de espaços num edifício;
- Melhorar a eficiência energética quer ao nível dos equipamentos de climatização quer ao nível de todos os equipamentos existentes;
- Conseguir a monitorização das práticas de manutenção dos sistemas de climatização, visando a eficiência energética e a qualidade de ar interior.

4.2. O Processo de uma auditoria energética

O processo de auditoria energética é essencialmente executado em quatro fases:

1. Planeamento e preparação da auditoria;
2. Trabalho de campo;
3. Análise e tratamento da informação;
4. Elaboração de relatório.

4.2.1. Planeamento e preparação da auditoria

Esta fase é fundamental para o bom desenrolar da auditoria. Nesta fase devem-se estabelecer os objectivos da auditoria, em caso de edifícios já existentes deverá ser efectuada uma primeira visita à instalação, deverão ser solicitados todos os documentos/plantas necessárias para a auditoria. Após a recepção de toda esta informação deverá ser planeada a forma como será efectuado o trabalho de campo e deverá também ser iniciada a descrição da instalação.

4.2.2. Trabalho de campo

Esta fase é a que vai permitir identificar as acções de melhoria em termos de economia energética. É nesta fase que se conseguirá conhecer os consumos de energia, para que possam ser contabilizados e saber qual a energia total que entra na instalação. Aqui consegue-se melhorar a caracterização da instalação, através da quantificação das formas de energia que são utilizadas e dos consumos por equipamento/sector. No trabalho de campo pode-se avaliar todo o comportamento energético do edifício, no qual se inclui a energia total consumida, a energia distribuída e as perdas existentes na mesma. Toda esta informação/dados são conseguidos através de recolhas/medições na instalação

4.2.3. Análise e tratamento da informação

Nesta fase passa-se a ter toda a instalação e o seu comportamento energético caracterizado, considerando os consumos e os seus custos associados. Aqui deve-se efectuar a análise dos dados obtidos na instalação. Esta análise não deverá ser efectuada na instalação em geral mas sim particularizando os equipamentos/sectores, permitindo assim uma análise melhor e mais eficaz, que levará também a quantificar, sector a sector, as medidas de racionalização a implementar.

4.2.4. Elaboração de relatório

A quarta fase e última, é a elaboração de um relatório. Neste relatório existe diversa informação onde deverá constar:

- Os objectivos da auditoria;
- O plano de actividades que foram desenvolvidas;
- A caracterização do edifício;
- A contabilização dos consumos de energia;
- O cálculo dos indicadores de desempenho energético;
- A análise dos resultados obtidos;
- As conclusões dos resultados obtidos;
- As propostas de melhoria e custo/benefício das mesmas.

Nesta fase é também definido, no âmbito das propostas de melhoria, um plano de racionalização de consumo, do qual consta uma análise técnico/económica das soluções a implementar e a forma de planeamento/acompanhamento do mesmo. Após todo este processo, será então atingido o objectivo final que será a emissão de um certificado de eficiência energética. O certificado de eficiência energética começa por identificar a instalação, de quem efectuou a auditoria e no final existe também um campo de observações para acrescentar toda a informação parametrizada no conteúdo do mesmo [16].

4.3. Descrição da instalação

O edifício sobre o qual é realizado este trabalho, é um edifício de espectáculos e reuniões públicas. Este edifício tem uma altura de cerca de 30 metros, é constituído por 12 pisos nos quais existem 2 auditórios, 9 camarins, 10 salas de ensaio e um estúdio de gravação. Para além do já referido, este edifício tem também diversos gabinetes e open spaces, diversos bares/copas, 1 restaurante, 1 restaurante/bar e diversas áreas técnicas. De seguida passa-se a descrever a instalação considerando as duas principais especialidades:

- Electricidade;
- AVAC;

4.3.1. Electricidade

Este edifício é alimentado por dois transformadores de 1250 kVA cada em paralelo, sendo a potência contratada de 1250 kVA.

A alimentação dos principais quadros, é efectuada através do quadro geral de baixa tensão (QGBT) conforme distribuição dos barramentos existentes. Pode-se de seguida visualizar o diagrama de alimentação e distribuição de energia.

De seguida apresenta-se na página 59 a figura 4.2:

Figura 4.2 – Diagrama de alimentação e distribuição de energia [17]

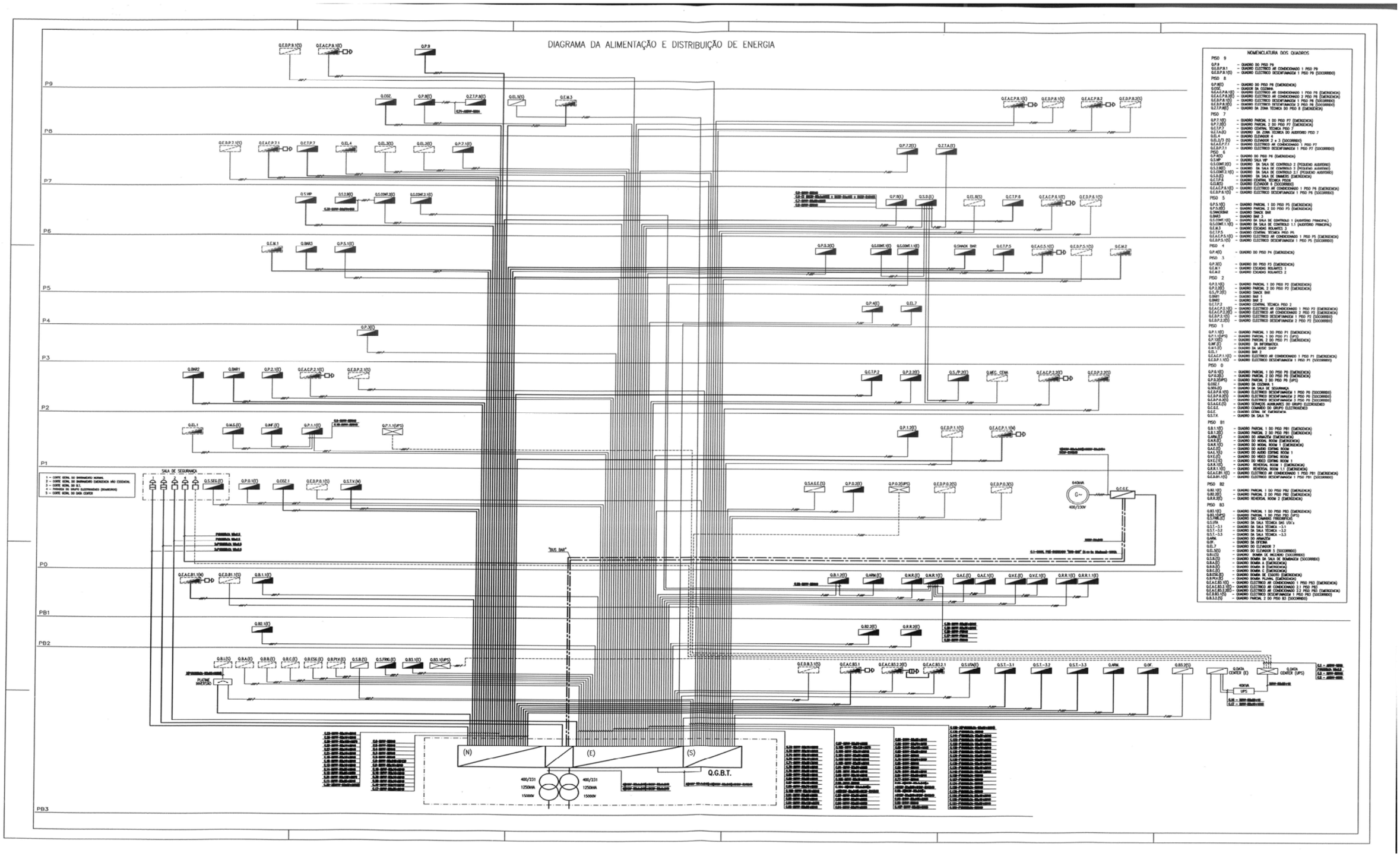


DIAGRAMA DA ALIMENTAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA
NOMENCLATURA DOS QUADROS
P9
P8
P7
P6
P5
P4
P3
P2
P1
P0
PB1
PB2
PB3
SALA DE SEGURANÇA
"BUS BAR"
PLATINE UNIVERSAL
(N)
(E)
(S)
Q.G.B.T.
400/231
1250kVA
1500kV
640kVA
400/230V
40kVA
UPS
Q.DATA CENTER (E)
Q.DATA CENTER (UPS)

Conforme se pode verificar pelas tabelas 4.1 e 4.2, este edifício possui 125 quadros eléctricos, entre quadros de alimentação normal, quadros de alimentação de emergência e quadros socorridos. Estes quadros estão espalhados ao longo do edifício, dependendo das necessidades e dos equipamentos instalados.
Do piso -3 até ao piso -1 existem 51 quadros:

Tabela 4.1 - Quadros eléctricos (piso -3 ao -1)

Nº	DESIGNAÇÃO	PISO
1	QGBT(Quadro Geral de Baixa Tensão)	Piso -3
2	Q.S.FRIG (E) - Quadro Frigoríficos Vestíbulo apoio Restaur.	
3	Q.BI	
4	Q.INVERSOR	
5	Q.SB (S) - Quadro Central Bombagem (Socorrido)	
6	Q.UCLB3.1 - Quadro Gestão Técnica 1 B3 CT5 Electricidade	
7	Q.B3.1 (UPS) - Quadro parcial 1 B3 (UPS) Courette CT5	
8	Q.B3.1 (E) - Quadro parcial 1 B3 (Emergência) Courette CT5	
9	Q.ST3.3 - Quadro Sala Técnica B3.3 Central Bombagem Chillers	
10	Q.ST3.1 - Quadro Sala Técnica B3.1 Administração III	
11	Q.DATACENTER (UPS) Sala Informática / Servidores	
12	Q.DATACENTER (E) Sala Informática / Servidores	
13	Q.ARM - Quadro Armazém Instrumentos	
14	Q.OF - Quadro Oficina	
15	Q.ST3.2 - Quadro Sala Técnica B3.2 Armazém "multi-portas"	
16	Q.E.A.C.B3.1 (N) - Quadro Ar Condicionado 1 B3 Sala UTA's	
17	Quadro Eléctrico Variadores Frequência Sala UTA's	
18	Q.E.D.B3.1 (S) - Quadro Desenfumagem 1 B3 (Socorrido)	
19	Q.S.UTA (E) - Quadro Sala Técnica UTA's (Emergência)	
20	Q.GATEWAY - Unid. Central SGTC	
21	Quadro Eléctrico Sist. Controlo Iluminação	
22	Quadro Eléctrico Gestão AVAC	
23	Q.UCLB3.2 - Quadro Gestão Técnica 2 B3 Sala QGBT	
24	Q.UCLB3.3 - Quadro Gestão Técnica 3 B3 Sala QGBT	
25	Q.E.UPS.B3.1 Sala QGBT	
26	Q.B3.2 (S) - Quadro parcial 2 B3 (Socorrido) QGBT	
27	Quadro Contagem Energia EDP Posto Transformação	
28	Q.B.ESG (E) - Quadro Bomba Esgoto (Emergência) Bomb.Esg.	
29	Q.B.B (E) - Quadro Bomba B (Emerg.)	
30	Q.E.A.C.B3.2.1 (N) - Quadro Ar Condicionado 2.1 B3	
31	Q.E.A.C.B3.2.2 (E) - Quadro Ar Condicionado 2.2 B3 (Emerg.)	
32	Q.B.PLV (E) Quadro Bomba Pluviais (Emergência) Bomb.Esg.	
33	Q.B2.1 (E) - Quadro parcial 1 B2 (Emergência) CT5 Electric.	Piso -2
34	Q.B2.2 (E) - Quadro parcial 2 B2 (Emergência) CT6 Electric.	
35	Q.RR2 (E) - Quadro Estúdio Gravação 2 (Emergência) CT2	
36	Q.B1.1 (E) - Quadro parcial 1 B1 (Emergência) CT5	Piso -1
37	Q.ARM1 (E) - Quadro Armazém (Emergência) Mediateca	
38	Q.RR1 (E) - Quadro Estúdio Gravação 1 (Emergência)	
39	Q.RR1.1 (E) - Quadro Estúdio Gravação 1.1 (Emergência)	
40	Quadro Eléctrico "Televês"	
41	Quadro Eléctrico "cabos AMP"	
42	Q.VE (E) - Quadro Sala Edição Vídeo (Emergência)	
43	Q.VE1 (E) - Quadro Sala Edição Vídeo 1 (Emergência)	
44	Q.NR (E) - Quadro Sala Interface Nodal (Emergência)	
45	Q.NR1 (E) - Quadro Sala Interface Nodal 1 (Emergência)	
46	Q.B1.2 (E) - Quadro parcial 2 B1 (Emergência) CT6	
47	Q.AE (E) - Quadro Sala Edição Audio (Emergência)	
48	Q.E.A.C.B1.1 (N) - Quadro Ar Condicionado 1 B1 Área Técnica	
49	Q.E.D.B1.1 (S) - Quadro Desenfumagem 1 B1 (Socorrido) Á.Técn	
50	Quadro Eléctrico Variadores Frequência Área Técnica (AVAC)	
51	Q.AE1 (E) - Quadro Sala Edição Audio 1 (Emergência)	

Do piso 0 até ao 9 existem 74 quadros:

Tabela 4.2 - Quadros eléctricos (piso 0 ao 9)

Nº	DESIGNAÇÃO	PISO
52	Q.SSEG (E) - Quadro Sala Segurança	Piso0
53	Q.P0.1 (E) - Quadro parcial 1 P0 (Emergência)	
54	Q.UCL0.2 - Sala técnica TV	
55	Q.E.UPS.0.2 Sala Técnica TV	
56	Q.STV - Quadro Sala TV	
57	Q.SAGE (S) - Quadro Serv.Aux.Grupo Electrogéneo (Socorrido)	
58	Quadro Interface do Grupo Compartimento Gerador	
59	Q.UCLP0.1 - Quadro Gestão Técnica 1 P0 Copa Suja	
60	Q.E.UPS.0.1 Copa Suja	
61	Q.COZ1 - Quadro Cozinha 1 Copa Suja	
62	Q.P0.2 (E) - Quadro parcial 2 P0 (Emergência)	
63	Q.P0.2 (UPS) - Quadro parcial 2 P0 (UPS)	
64	Q.E.D.P0.3 (S) - Quadro Desenfumagem 3 P0 (Socorrido)	
65	Q.E.D.P0.2 (S) - Quadro Desenfumagem 2 P0 (Socorrido)	
66	Q.MS (E) - Quadro Loja Música (Emergência)	Piso1
67	Q.P1.1 (E) - Quadro parcial 1 P1 (Emergência)	
68	Q.P1.1 (UPS) - Quadro parcial 1 P1 (UPS)	
69	Q.P1.2 (E) - Quadro parcial 2 P1 (Emergência)	
70	Q.E.A.C.P1.1 (N) - Quadro Ar Condicionado 1 P1	
71	Q.P2.1 (E) - Quadro parcial 1 P2 (Emergência)	Piso2
72	Q.S/P2 (E) - Quadro Parcial Bastidor Coro P2 (Emergência)	
73	Q.CT.P2 - Quadro Central Técnica P2	
74	Q.BAR2 - Quadro Bar 2	
75	Q.P2.2 (E) - Quadro parcial 2 P2 (Emergência)	
76	Q.E. comando de desenfumagem	
77	Q.E.A.C.P2.2 (E) - Quadro Ar Condicionado 2 P2 (Emergência)	
78	Q.E.D.P2.2 (S) - Quadro desenfumagem 2 P2 (Socorrido)	
79	Q.P3 (E) - Quadro P3 (Emergência) Courette CT5 Electricidade	Piso3
80	Q.E. comando de desenfumagem Courette CT5 Electricidade	Piso4
81	Quadro do Elevador EL7 (Monta Pianos)	
82	Q.EL7 C. Máquina Monta Pianos EL7	
83	Q.P4 (E) - Quadro P4 (Emergência)	
84	Q.E.UPS.5.1 Courette CT5 Electricidade	Piso5
85	Q.UCLP5.1 - Quadro Gestão Técnica 1 P5 CT5 Electricidade	
86	Q.P5.1 (E) - Quadro parcial 1 P5 (Emergência)	
87	Q.BAR3 - Quadro Bar 3	
88	Q.CT.P5 - Quadro Central Técnica P5	
89	Q.SNACKBAR - Quadro Snack-Bar	
90	Q.SCONT1 (E) - Quadro Sala Controlo 1 (Emergência)	
91	Q.SCONT1.1 (E) - Quadro Sala Controlo 1.1 (Emergência)	
92	Q.E.UCL5.2 Compartimento Eléctrico	
93	Q.E.UPS.5.2 Compartimento Eléctrico	
94	Q.P5.2 (E) - Quadro parcial 2 P5 (Emergência)	
95	T2 - Comando Portas Cortina Sala 2 Courette técnica	
96	Q.E.D.P5.1 (S) - Quadro desenfumagem 1 P5 (Socorrido)	
97	Q.E.A.C.P5.1 (N) - Quadro Ar Condicionado 1 P5	
98	Q.S2B (E) - Quadro Sala Controlo 2B (Emergência)	Piso6
99	Q.SCONT2 (E) - Quadro Sala Controlo 2 (Emergência)	
100	Q.SCONT2.1 (E) - Quadro Sala Controlo 2.1 (Emergência)	
101	Q.SVIP (N) - Quadro Sala VIP Arrumos	
102	Q.SD (E) - Quadro Sala Dimmers (Emergência) Sala Dimmer's	
103	Q.P6 (E) - Quadro P6 (Emergência) Á.Técnica acesso Dimmer's	
104	Q.CT.P6 - Quadro Central Técnica P6 Á.Técnica aces. Dimmer's	
105	Q.E.A.C.P6.1 (E) - Quadro Ar Condicionado 1 P6 (Emergência)	
106	Q.E.D.P6.1 (S) - Quadro Desenfumagem 1 P6 (Socorrido) AVAC	
107	Comando clarabóia Terraço I Courette CT5 Electricidade	Piso7
108	Q.P7.1 (E) - Quadro parcial 1 P7 (Emergência) CT5	
109	Q.CT.P7 (N) - Quadro Central Técnica P7 Área Técnica (AVAC)	
110	Q.Z.T.A (E) - Quadro Zona Técnica Sala 1	
111	Armário Alimentação / Controlo Compressor Ar p/ Canópia	
112	Q.P7.2 (E) - Quadro parcial 2 P7 (Emergência)	
113	Q.E.D.P7.1 (S) - Quadro Desenfumagem 1 P7 (Socorrido) AVAC	
114	Q.E.A.C.P7.1 (N) - Quadro Ar Condicionado 1 P7 Área Técnica	
115	Q.P8 (E) - Quadro P8 (Emergência) Escritório Gerente Cozinha	Piso8
116	Q.Z.T.P8 (E) - Quadro Zona Técnica P8	
117	Q.E. comando clarabóias Restaurante Zona Serviço	
118	Q.COZ - Quadro Cozinha P8	
119	Q.E.A.C.P8.1 (E) - Quadro Ar Condicionado 1 P8 (Emergência)	
120	Q.E.D.P8.1 (S) - Quadro Desenfumagem 1 P8 (Socorrido)	
121	Q.E.D.P8.2 (S) - Quadro Desenfumagem 2 P8 (Socorrido)	
122	Q.E.A.C.P8.2 (E) - Quadro Ar Condicionado 2 P8 (Emergência)	
123	Q.P9 (E) - Quadro P9 (Emergência) Área Técnica	Piso9
124	Q.E.D.P9.1 (S) - Quadro Desenfumagem 1 P9 (Socorrido)	
125	Q.E.A.C.P9.1 (E) - Quadro Ar Condicionado 1 P9 (Emergência)	

A iluminação do edifício é efectuada com diversos tipos de armaduras, no entanto as armaduras estão sempre equipadas com balastros electrónicos.

Tabela 4.3 – Características da Iluminação

Nº	TIPO DE ARMADURAS	QUANTIDADE	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA TOTAL (kW)
1	1*1,5W	53	1,50	0,08
4	1x8 W	440	8,00	3,52
3	2x8 W	14	16,00	0,22
5	1*11W	58	11,00	0,64
6	1*13W	278	13,00	3,61
7	1x18 W	852	18,00	15,34
8	1*28W	1	28,00	0,03
9	1x32 W	5	32,00	0,16
10	1x36 W	3345	36,00	120,42
11	1x50 W	146	50,00	7,30
12	1x58 W	356	58,00	20,65
13	1x60 W	360	60,00	21,60
14	1*70W	2	70,00	0,14
15	1x80 W	78	80,00	6,24
16	1x100 W	13	100,00	1,30
17	1x150 W	7	150,00	1,05
18	1*300W	12	300,00	3,60
19	1x400 W	59	400,00	23,60
20	1x500 W	22	500,00	11,00
21	1*575W	38	575,00	21,85
22	1x625 W	16	625,00	10,00
23	1x1000 W	94	1000,00	94,00
24	1*1500W	5	1500,00	7,50

Ao longo do edifício existem 82 unidades de controlo de iluminação normal e emergência. Existe também um gerador de emergência de 630 kVA que se encontra no piso 0 e que é normalmente conectado através de um inversor, que se encontra no QGBT, aquando da falha de energia. Relativamente a UPS's, existem 8 de diversas potências e uma bateria de condensadores de 630 kVAr com 7 escalões de igual valor (90 kVAr).

4.3.2. AVAC

A instalação possui diversos equipamentos de AVAC, que contribuem para o resultado dos consumos existentes na mesma.

Quanto à produção de água fria, existem 2 grupos compactos de arrefecimento de água ("chiller"), de parafuso do tipo água/ água e com uma potência eléctrica de 360 kW cada um. Para além destes equipamentos possui também 2 grupos compactos de arrefecimento de água

("mini-chiller") do tipo ar-água, 4 bombas de velocidade fixa e 3 bombas de velocidade variável.

Quanto á forma de ventilação/tratamento de ar do edifício, este possui:

- 25 Unidades de tratamento de ar (UTA), com baterias de água quente e baterias de água fria;

Tabela 4.4 – UTA

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	UTA B3/1	0,60
2	UTA B3/2	2,60
3	UTA B3/3	5,50
4	UTA B3/4	7,50
5	UTA B3/5	2,20
6	UTA B3/6	1,50
7	UTA B3/7	1,50
8	UTA B3/8	1,50
9	UTA B3/9	7,00
10	UTA B3/10	10,50
11	UTA B3/11	7,00
12	UTA B3/12	4,40
13	UTA B3/13	3,70
14	UTA B1/1	3,70
15	UTA B1/2	3,70
16	UTA P1/1	0,60
17	UTA P1/2	2,20
18	UTA P2/1	11,00
19	UTA P2/2	7,50
20	UTA P2/3	5,50
21	UTA P2/4	4,00
22	UTA P5/1	4,50
23	UTA P6/1	7,70
24	UTA P 7/1	7,00
25	UTA P 9/1	3,00

- 4 Unidades de arrefecimento de ar (UCA)

Tabela 4.5 – UCA

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	UCAB3.1	2,07
2	UCAB3.2	6,44
3	UCAB3.3	6,44
4	UCAB1.1	2,07

- 7 Unidades de extracção de ar (UEA)

Tabela 4.6 – UEA

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	UEA P5/1	2,20
2	UEA P6/1	7,50
3	UEA P7/1	1,10
4	UEA P8/1	3,90
5	UEA P9/1	3,00
6	UEA P9/2	7,50
7	UEA P9/3	0,80

- 20 Unidades de ventiloconvecção (UVC)

Tabela 4.7 – UVC

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	UVC B1.1	0,60
2	UVC B1.2	0,60
3	UVC B1.3	0,60
4	UVC B1.4	0,60
5	UVC P0.1	0,60
6	UVC P4.1	0,60
7	UVC P5.1	0,60
8	UVC P6.1	0,60
9	UVC P8.1	0,60
10	UVC P8.2	0,60
11	UVC P8.3	0,60
12	UVC P8.4	0,60
13	UVC P8.5	0,60
14	UVC P8.6	0,60
15	UVC P8.7	0,60
16	UVC P8.8	0,60
17	UVC P8.9	0,60
18	UVC P8.10	0,60
19	UVC P8.11	0,60
20	UVC P8.12	0,60

- 36 Módulos de variação de caudal (MVC)

Tabela 4.8 – MVC

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	MVC B3.1	110,00
2	MVC B3.2	110,00
3	MVC B3.3	110,00
4	MVC B3.4	110,00
5	MVC B3.5	110,00
6	MVC B1.1	110,00
7	MVC B1.2	110,00
8	MVC B1.3	110,00
9	MVC B1.4	110,00
10	MVC B1.5	110,00
11	MVC P1.1	110,00
12	MVC P1.2	110,00
13	MVC P1.3	110,00
14	MVC P1.4	110,00
15	MVC P1.5	110,00
16	MVC P1.6	110,00
17	MVC P1.7	110,00
18	MVC P1.8	110,00
19	MVC P1.9	110,00
20	MVC P1.10	110,00
21	MVC P1.11	110,00
22	MVC P1.12	110,00
23	MVC P1.13	110,00
24	MVC P1.14	110,00
25	MVC P1.15	110,00
26	MVC P1.16	110,00
27	MVC P1.17	110,00
28	MVC P1.18	110,00
29	MVC P1.19	110,00
30	MVC P1.20	110,00
31	MVC P1.21	110,00
32	MVC P1.22	110,00
33	MVC P1.23	110,00
34	MVC P1.24	110,00
35	MVC P1.25	110,00
36	MVC P1.26	110,00

- 7 Unidades do tipo split

Tabela 4.9 – Unidades do tipo split

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	Split 1	2,71
2	Split 2	1,40
3	Split 3	1,40
4	Split 4	0,17
5	Split 5	0,17
6	Split 6	0,17
7	Split 7	0,17

- 20 Ventiladores de desenfumagem

Tabela 4.10 – Ventiladores de desenfumagem

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	VD B 3.1	0,55
2	VD B 3.2	3,00
3	VD B 3.3	3,00
4	VD B 3.4	1,10
5	VD B 3.5	1,10
6	VD B 3.6	1,10
7	VD B 3.7	1,10
8	VD B 3.8	0,37
9	VD B1.1	3,00
10	VD P1.1	3,00
11	VD P5.1	3,00
12	VD P5.2	0,75
13	VD P6.1	3,00
14	VD P6.2	5,50
15	VD P7.1	0,75
16	VD P8.1	3,00
17	VD B9.1	2,20
18	VD B9.2	3,00
19	VD B9.3	5,00
20	VD B9.4	0,75

- 4 Ventiladores de insuflação

Tabela 4.11 – Ventiladores de insuflação

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	VI B3.1	0,13
2	VI B3.2	0,26
3	VI B3.3	0,26
4	VI P8.1	0,14

- 17 Ventiladores de extracção

Tabela 4.12 – Ventiladores de extracção

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	VE B3.1	2,20
2	VE B3.2	2,20
3	VE B3.3	0,26
4	VE B3.4	0,39
5	VE B2.1	0,06
6	VE B2.2	0,06
7	VE P0.1	0,14
8	VE P0.2	0,05
9	VE P0.3	0,26
10	VE P4.1	0,26
11	VE P5.1	0,26
12	VE P8.1	0,14
13	VE P8.2	0,37
14	VE P8.3	3,00
15	VE P8.4	0,26
16	VE P9.1	0,14
17	VE P9.2	4,00

- 9 Ventiladores de pressurização

Tabela 4.13 – Ventiladores de pressurização

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	VP B3.1	1,40
2	VP B3.2	1,40
3	VP B1.1	1,40
4	VP B1.2	1,40
5	VP B1.3	1,40
6	VP P0.1	1,40
7	VP P0.2	2,70
8	VP P0.3	1,40
9	VP P6.1	0,39

- 9 Humidificadores de ar

Tabela 4.14 – Humidificadores de ar

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	Hum. Uta B3.1	3,20
2	Hum. Uta B3.11	3,75
3	Hum. Uta B3.12	3,75
4	Hum. Uta B3.13	6,00
5	Hum. Uta P2.1	33,75
6	Hum. Uta P2.2	33,75
7	Hum. Uta P2.3	18,75
8	Hum. Uta P2.4	18,75
9	Hum. Uta P5.1	6,00

Existem, em simultâneo com ventiladores e bombas instaladas, 34 variadores de frequência.

Tabela 4.15 – Variadores de frequência

DESIGNAÇÃO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)	LOCALIZAÇÃO
Variador VI UTA B3.9	5,50	Piso -3
Variador VI UTA B3.10	7,50	Piso -3
Variador VI UTA B3.11	5,40	Piso -3
Variador VI UTA B3.12	2,20	Piso -3
Variador VR UTA B3.9	3,00	Piso -3
Variador VR UTA B3.10	3,00	Piso -3
Variador VR UTA B3.11	3,00	Piso -3
Variador VR UTA B3.12	2,20	Piso -3
Variador Produção Frio 1	37,00	Piso -3
Variador Produção Frio 2	37,00	Piso -3
Variador Produção Frio 3	37,00	Piso -3
Variador VP B1.1	1,50	Piso -1
Variador VP B1.2	1,50	Piso -1
Variador VP B1.3	1,50	Piso -1
Variador VI B1.2	3,00	Piso -1
Variador Administração	4,00	Piso 0
Variador P0.79	4,00	Piso 0
Variador P2	11,00	Piso 2
Variador P6	4,40	Piso 6
Variador P8	3,00	Piso 8
Variador P9.1	3,00	Piso 9
Variador P9.2	4,00	Piso 9
Variador Produção Quente 1	22,00	Piso 9
Variador Produção Quente 2	22,00	Piso 9
Variador elevador de palco 1	15,00	Piso 2
Variador elevador de palco 2	15,00	Piso 2
Variador elevador de palco 3	15,00	Piso 2
Variador elevador de palco 4	15,00	Piso 2
Variador elevador de palco 5	15,00	Piso 2
Variador elevador de palco 6	15,00	Piso 2
Variador elevador de palco 7	22,00	Piso 2
Variador elevador de palco 8	22,00	Piso 2
Variador elevador de palco 9	22,00	Piso 2
Variador elevador de palco 10	22,00	Piso 2

Associado ao aquecimento/arrefecimento por pavimento radiante existem 21 bombas circuladoras.

Tabela 4.16 – Bombas circuladoras

QUANTIDADE	POTÊNCIA UNITÁRIA(kW)	POTÊNCIA TOTAL(kW)
16	0,235	3,76
5	0,37	1,85

Em termos de bombagem de águas, existem os seguintes equipamentos:

- 5 Bombas de água de consumo

Tabela 4.17 – Bombas de água de consumo

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	B1	4,00
2	B2	4,00
3	B3	4,00
4	B4	4,00
5	B5	4,00

- 2bombas de águas pluviais

Tabela 4.18 – Bombas de águas pluviais

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	B1	9,60
2	B2	9,60

- 2 Bombas de águas residuais

Tabela 4.19 – Bombas de águas residuais

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	B1	14,40
2	B2	14,40

- 2 Bombas de 2 termoacumuladores

Tabela 4.20 – Bombas de 2 termoacumuladores

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	B1	1,10
2	B2	1,10

- 3 Bombas da central de bombagem de incêndio

Tabela 4.21 – Bombas da central de bombagem de incêndio

Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA ELÉCTRICA(kW)
1	B1	132,00
2	B2	132,00
3	B3	4,00

Para além destes equipamentos existem diversos equipamentos informáticos, equipamentos de restauração, 8 elevadores e 3 escadas mecânicas.

Capítulo 5

Apresentação dos Resultados

5.1. Critérios de análise dos dados recolhidos

Com a necessidade de efectuar uma análise aos dados recolhidos da instalação existe a necessidade de serem definidos critérios. Nesse sentido foram identificadas as normas relevantes para análise, tendo sido definidos os seguintes critérios:

1. Valor máximo da taxa de distorção harmónica de tensão (THD_V);

2. Valor máximo de distorção harmónica de corrente (THD_I) e máximo valor para determinada ordem de harmónicos de corrente;

3. Valores máximos dos harmónicos de tensão;

4. Compensação de energia reactiva;

5. Instalação do equipamento de análise;

5.1.1. Critério 1 - Valor máximo da taxa de distorção harmónica de tensão (THD_V)

Este critério foi retirado do IEEE 519-1992 [8] e considera-se que para os sistemas instalados, sendo um sistema que não é especial nem dedicado tem um valor limite de THD_V de 5%.

Tabela 5.1 – Valor máximo da taxa de distorção harmónica de tensão [8]

	Aplicações especiais*	Sistema Geral	Sistema dedicado**
THD_V	3%	5%	10%

*Aplicações especiais incluem hospitais e aeroportos
**Sistema dedicado para o conversor de carga

5.1.2. Critério 2 - Valor máximo de distorção harmónica de Corrente (THD_I) e máximo valor para determinada ordem de harmónicos de Corrente

O critério do valor máximo de THD_I foi retirado do IEEE 519-1992 [8]. Para chegar ao valor limite de THD_I foi necessário efectuar o cálculo da relação da corrente de curto-circuito com a corrente fundamental (calculada). Para a corrente de curto-circuito foi considerado um valor fornecido pela EDP para a área da instalação.

Tabela 5.2 – Valor máximo da taxa de distorção harmónica de corrente e máximo valor das correntes harmónicas individuais [8]

Máxima corrente harmónica em % da corrente de carga						
Harmónicos impares						
I_{cc}/I_L	<11	11≤ n <23	23≤n<23	23≤n<25	n>35	THD_i(%)
$\frac{I_{cc}}{I_L}$ <20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20< $\frac{I_{cc}}{I_L}$ <50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50< $\frac{I_{cc}}{I_L}$ <100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100< $\frac{I_{cc}}{I_L}$ <1000	12	5,5	5	2	1	15
$\frac{I_{cc}}{I_L}$ >1000	15	7	6	2,5	1,4	20

I_{cc} -Corrente de curto-circuito
I_L-Valor da componente fundamental da corrente
THD_i-Taxa de distorção harmónica de corrente

- $$Icc = \frac{1000*MVA}{\sqrt{3}*KV} = \frac{1000*350}{\sqrt{3}*15} = 13471{,}51\ A \quad (5.1)$$

- $\mathrm{IL} = \frac{KW}{PF*\sqrt{3}*KV} = \frac{1000}{1*\sqrt{3}*15}$ = 38,49 A (5.2)

- $\frac{\mathrm{Icc}}{\mathrm{IL}} = \frac{13471{,}51}{38{,}49}$ = 350,00 (5.3)

Tendo em conta que o valor da relação é igual a 350.00 e olhando para a tabela, verifica-se que se encontra no intervalo de 100 a 1000 sendo o valor limite de THD_I de 15 %. Nesta tabela também se verifica, dependendo da ordem de harmónicos, qual o valor limite (ex: ordem <11 o limite é 12%).

5.1.3. Critério 3 - Valor máximo dos harmónicos de tensão

Para a definição do valor limite para os harmónicos de tensão foi considerada a norma EN50160 [1], que define para cada ordem harmónica encontrada o seu valor limite (ex: para ordem 5 o valor limite é de 6%) [1].

Tabela 5.3 – Valores das tensões harmónicas individuais [1]

Valores das tensões harmónicas individuais nos pontos de entrega até à ordem 25 expressas em percentagem da tensão fundamental U_1					
Harmónicas ímpares				Harmónicas pares	
Não múltiplas de 3		Múltiplas de 3			
Ordem h	Amplitude relativa U_h	Ordem h	Amplitude relativa U_h	Ordem h	Amplitude relativa U_h
5	6,0%	3	5,0%	2	2,0%
7	5,0%	9	1,5%	4	1,0%
11	3,5%	15	0,5%	6…24	0,5%
13	3,0%	21	0,5%		
17	2,0%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

5.1.4. Critério 4 - Compensação de energia reactiva

Para os valores limite de factor de potência foi considerado o despacho da ERSE 7253/2010 [4] no qual é estabelecida a mudança de limites, relativamente ao factor de potência, a mudança

da forma de facturação, ou seja passaria a ser facturada a tangente de φ em vez do cosseno e os factores multiplicativos consoante a tangente aumenta.

Tabela 5.4 – Intervalos de facturação energia reactiva [4]

Tg φ	Factor de Potência	Factor multiplicador
0,3 – 0,4	0,96	1/3 (Janeiro 2012)
0,4 – 0,5	0,93	1
>0,5	0,89	3

5.1.5. Critério 5 - Instalação do equipamento de análise

Para efectuar a análise do comportamento da instalação, em termos de qualidade de energia é necessário um equipamento que permita a leitura de parâmetros como:

- Tensão nas fases (V1;V2;V3);
- Corrente nas fases e no neutro (I1;I2;I3;In);
- Potência activa total (Pt);
- Potência reactiva total (Qt);
- Potência aparente (Sa);
- Factor de potência (FP);
- Taxa de distorção harmónica (THD_V;THD_I);
- Harmónicos de corrente e tensão (HxxI;HxxV).

Para efectuar o registo/ análise destes valores considerou-se normalmente um intervalo de 24 horas com gravação de 10 em 10 minutos. De seguida mostra-se a figura 5.1 que representa a forma de instalação do equipamento para uma correcta recolha de dados:

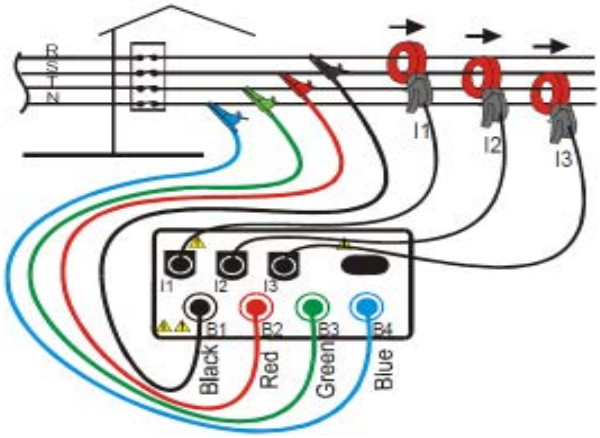


Figura 5.1 – Modo de instalação do equipamento de análise [18]

Para o esquema de ligação foi tido em consideração o manual do equipamento utilizado para análise.

5.2. Análise dos dados recolhidos

Na sequência do acordado com o proprietário do edifício foi definido que, tendo em conta o tempo de execução do trabalho, a análise incidiria essencialmente nos seguintes quadros:

- QGBT;
- Q.Coz;
- Q.DCenter (UPS);
- Q.D Center;
- QEAC B3.1;
- QEACB3.2.1;
- QEAC B3.2.2;
- QRR1;
- Q.S Cont;
- QSD;

Tendo sido definidos os locais de análise iniciou-se a instalação do analisador de redes nestes locais, tendo-se obtido os resultados apresentados de seguida, aos quais se irá efectuar a respectiva análise. No período de análise não foi possível efectuar a análise do quadro QEAC B3.2.1 e QEAC B3.2.2 devido aos chillers não estarem em funcionamento. Nesse sentido e tendo em conta o desenrolar da recolha efectuada foi então decidido efectuar também a recolha em duas unidades de controlo de iluminação:

- UCI 0.2;
- UCI 1.1.

5.2.1. QGBT- 2 Transformadores ligados

Da análise efectuada aos consumos registados, bem como das facturas em posse do proprietário do edifício constata-se que a potência instalada (2*1250 kVA) é bastante superior às reais necessidades do edifício. Uma vez que existem 2 (dois) transformadores ligados em paralelo no posto de transformação do edifício, verifica-se a possibilidade de colocar apenas um deles em carga, dado que a potência debitada por cada um deles é igual à potência contratada ao distribuidor de energia. O seguinte conjunto de curvas, representados na figura 5.2, especifica o regime de carga ideal para um correcto funcionamento do transformador trifásico.

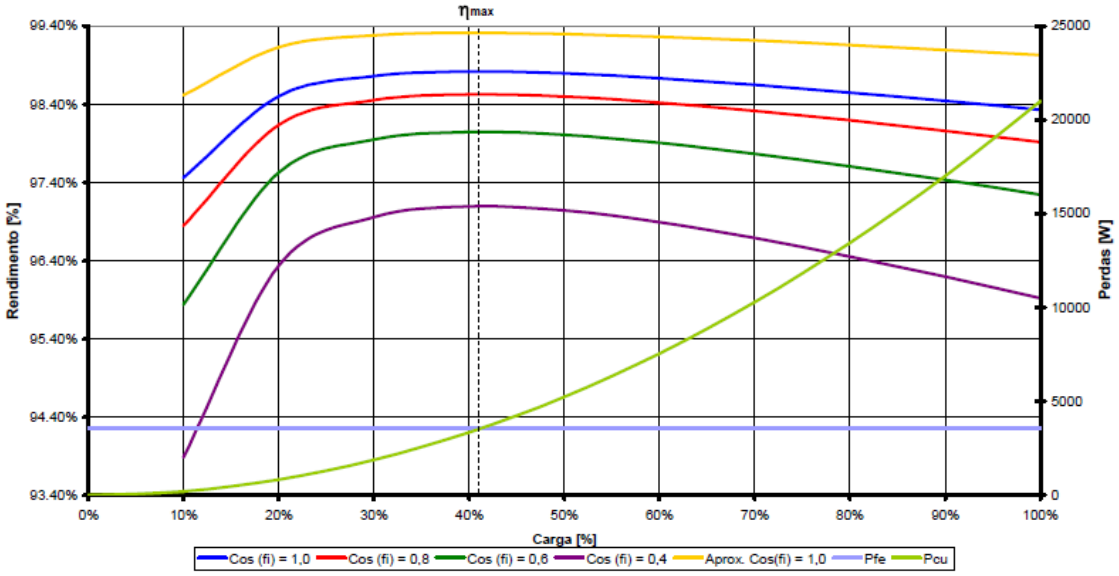


Figura 5.2 – Curva de rendimento de um transformador em função da carga [19]

Uma vez que existe uma bateria de condensadores associada à instalação, o factor de potência (cos φ) estará situado entre os 0,95 e 1,00. Assim sendo pode-se facilmente constatar, através de análise gráfica, que o transformador atinge um bom rendimento quando a potência da carga se situa entre os 40 a 50% da potência nominal do transformador.

De referir também que o facto de o transformador estar a funcionar num regime de carga que não é o indicado, pode suscitar vibrações que conduzem a reaperto, incentivando assim o desgaste prematuro dos transformadores. Ao utilizar os 2500 kVA dos dois transformadores e não excedendo um consumo de 1250 kVA, que está contratado, está-se a operar o transformador a um regime de carga que não conduz a rendimentos elevados. Por outro lado existe a questão da potência de perdas no ferro, que é constante, quer o transformador trabalhe à plena carga, quer a meia carga e que seriam minimizadas se apenas um dos transformadores de cada vez se encontrasse em funcionamento.

Tabela 5.5 – Perdas no ferro de um transformador [19]

Tensão mais elevada ≤17,5KV	**Potência**	**kVA**	1250
	Perdas em vazio	**W**	2600
	Perdas em carga (75ºC)	**W**	10700
	Perdas em carga (120ºC)	**W**	12200
	Tensão de curto-circuito(120ºC)	**%**	6
	Potência sonora(L_{wa})	**db(A)**	79

Da tabela acima, pode-se concluir que a potência de perdas fixas no ferro de um transformador seco de 1250 kVA é de 2600W.

Fazendo umas contas ao ano:

- 365dias × 24horas = 8760horas (5.4)

- Energia = P × t = 2600 × 8760 = 22776,00 kW h (5.5)

Se o preço do kWh for de 0,10€

O desligar um transformador traduz-se numa economia de 2277,60 € por ano, isto sem contabilizar a actualização do preço do kWh para os anos seguintes.

Existem duas opções para implementação:

- Um transformador a funcionar em regime contínuo e o outro seria uma reserva para o caso de anomalia;
- Dois transformadores a alternar por um período de tempo para que o desgaste seja repartido de igual forma pelas duas máquinas.

5.2.2. QGBT- 1 Transformador ligado

Após efectuada a análise dos consumos registados com um transformador e das facturas/potência contratada do cliente decidiu-se efectuar o teste com apenas 1 dos transformadores ligados. Dos resultados obtidos constata-se que a potência máxima registada é de 435 kVA, tendo consumos de cerca de 630 A por fase. Verifica-se que as cargas não se encontram totalmente equilibradas e que se registam valores de correntes de neutro elevadas.

Relativamente ao valor de factor de potência mínimo registado, este é de 0,97.

Tendo em conta a alteração registada no despacho 7253/2010 [4], o valor de factor de potência passou a ser facturado a partir de um valor de factor de potência de 0,96.

Como o valor registado é bastante próximo, convém efectuar a seguinte análise:

Tabela 5.6 – Factor de potência da instalação

	04-04-2012 11:02
Cos φ medido	0,97
Cos φ pretendido	0,99

Tabela 5.7 – Potência activa total

Date & Time	**Pt (kW)**
04-04-2012 11:02	366,60

Tabela 5.8 – Bateria de condensadores necessária

kVAr necessário para compensar	39,64

Verifica-se que apesar de a bateria ter capacidade suficiente para a instalação (7 escalões de 90 kVAr = 630 kVAr), por vezes os valores de factores de potência ficam muito próximos/incluídos do intervalo de pagamento do distribuidor de energia. A bateria encontra-se parametrizada para compensar a 0.99, não colocando todos os escalões em funcionamento. Devido à tipologia dos seus escalões a bateria instalada não consegue, em determinadas situações (potências), colocar o factor de potência num valor superior. Verifica-se, por exemplo, no cálculo efectuado que a bateria necessitaria de cerca de 40 kVAr para compensar, no entanto como só possui escalões de 90 não o faz.

Para melhorar a compensação seria ideal a substituição de um escalão de 90 kVAr por um de 30+60 kVAr, mantendo o valor da bateria e evitando custos acrescidos de protecções e cablagem. A execução desta solução poderá custar cerca de 3000,00€.

Relativamente à THD, verifica-se que a instalação possui valores superiores ao aconselhado pelo IEEE 519-1992 (5%). Aqui verifica-se que os maiores valores de THD_V e THD_I são obtidos ao longo da noite, sendo o máximo atingido pelas 6:17.

Tabela 5.9 – Taxa de distorção máxima harmónica da instalação

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	4,40	Ok
THD V2	4,44	Ok
THD V3	4,48	Ok
THD I1	23,07	NOK
THD I2	20,76	NOK
THD I3	22,28	NOK

Após análise das ordens de harmónicos existentes, verifica-se que as ordens de harmónicos existentes na instalação, para além da componente fundamental são a 3ª, a 5ª e a 7ª, quer a nível de tensão quer a nível de corrente. Verifica-se que, tendo em conta o critério, que a THD_I se encontra acima do limite.

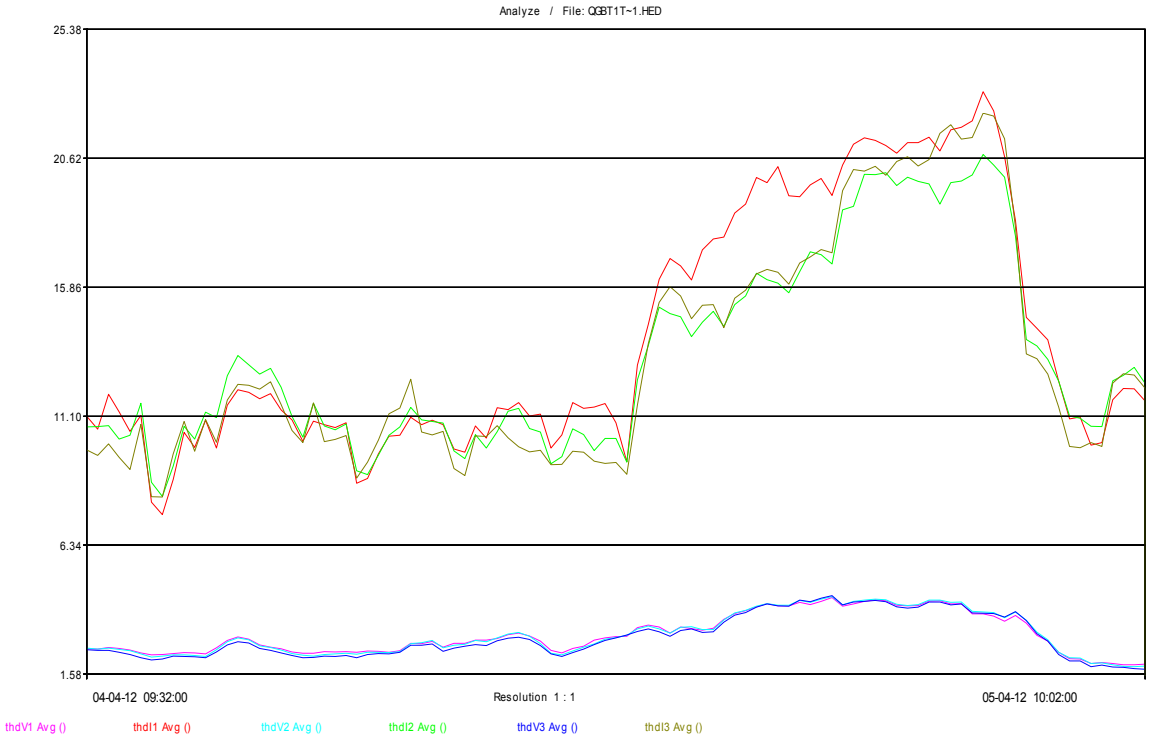


Figura 5.3 – Taxa de distorção harmónica medida na instalação (QGBT)

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.10 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente da instalação (QGBT)

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	2,34	OK
h05 V1	10,2	NOK
h07 V1	1,49	OK
h03 V2	2,08	OK
h05 V2	10,26	NOK
h07 V2	1,8	OK
h03 V3	1,49	OK
h05 V3	10,54	NOK
h07 V3	1,38	OK

	Máximo atingido	IEEE 519-1992 (12%)
h03 I1	34,45	NOK
h05 I1	36,43	NOK
h07 I1	30,25	NOK
h03 I2	34,19	NOK
h05 I2	36,57	NOK
h07 I2	31,25	NOK
h03 I3	19,88	NOK
h05 I3	36,08	NOK
h07 I3	36,17	NOK

Os harmónicos de tensão são mais acentuadas durante a noite sendo o harmónico de 5ª ordem o mais significativo. Os harmónicos de corrente aparecem durante o maior consumo da casa, sendo que as três ordens aparecem com valores semelhantes, realçando o valor da terceira

harmónica que provoca o aumento da corrente do neutro. Tendo em consideração a EN50160 [1] e a IEEE 519-1992 [8], verifica-se que, em termos de tensão, apenas o harmónico de ordem 5 ultrapassa os critérios e que, em termos de corrente, os critérios são ultrapassados em todas as ordens.

5.2.3. Quadros parciais

Após análise dos parâmetros no QGBT, começou-se então a efectuar a análise nos quadros parciais. Nos quadros parciais, tendo em conta que a correcção de factor de potência está a ser efectuada centralmente, vai-se apenas analisar a THD e os harmónicos individuais. De uma forma generalizada constata-se que as THD_V se mantêm inferiores a 5% nos quadros analisados, com excepção de 2 quadros específicos (QSCONT e QSD) que em determinadas situações (eventos) apresentam valores superiores. Quanto à THD_I, normalmente, é bastante superior aos 5%.

5.2.3.1. QCoz

O quadro Qcoz, situa-se no piso 8 do edifício, sendo que é o quadro de alimentação à cozinha do piso 8, no qual existem, circuitos de iluminação, circuitos de tomadas, equipamentos de cozinha e hotte. Neste quadro existem cargas trifásicas e monofásicas.

Tabela 5.11 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QCoz

	Máximo atingido	**IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)**
THD V1	3,84	OK
THD V2	3,87	OK
THD V3	3,75	OK
THD I1	5,77	NOK
THD I2	1,54	OK
THD I3	4,76	OK

Da taxa de distorção harmónica, verifica-se que apenas existe uma taxa superior ao limite na fase 1 e em termos de corrente.

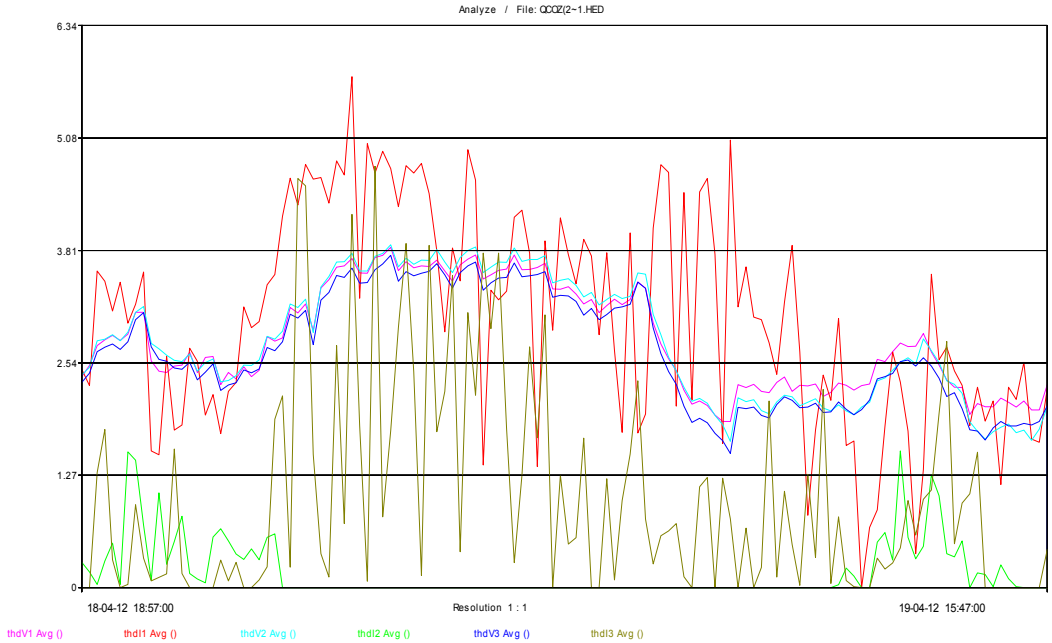


Figura 5.4 – Taxa de distorção harmónica medida no QCoz

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.12 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QCoz

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	3,03	OK
h05 V1	8,81	NOK
h07 V1	1,27	OK
h03 V2	2,54	OK
h05 V2	8,80	NOK
h07 V2	1,82	OK
h03 V3	1,81	OK
h05 V3	8,76	NOK
h07 V3	1,25	OK

	Máximo atingido	IEEE 519-1992 (12%)
h03 I1	1,17	OK
h05 I1	1,27	OK
h07 I1	0,00	OK
h03 I2	0,03	OK
h05 I2	0,90	OK
h07 I2	0,00	OK
h03 I3	1,10	OK
h05 I3	0,64	OK
h07 I3	0,00	OK

Quanto aos harmónicos de tensão, verifica-se que os valores do 5º harmónico são superiores a 5%, sendo estes valores atingidos durante a noite quando os consumos diminuem e os valores dos harmónicos de corrente também diminuem. Neste quadro os valores dos harmónicos de corrente são bastante reduzidos.

5.2.3.2. QDcenter (UPS)

Neste quadro, para além de circuitos de iluminação e tomadas está também a alimentação da UPS.

Tabela 5.13 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QDcenter (UPS)

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	0,51	OK
THD V2	0,18	OK
THD V3	0,05	OK
THD I1	41,47	NOK
THD I2	23,87	NOK
THD I3	24,38	NOK

Da análise às taxas de distorção harmónica, verifica-se que o grande problema da instalação é a taxa de distorção harmónica de corrente, cujos valores obtidos ultrapassam significativamente o critério estabelecido.

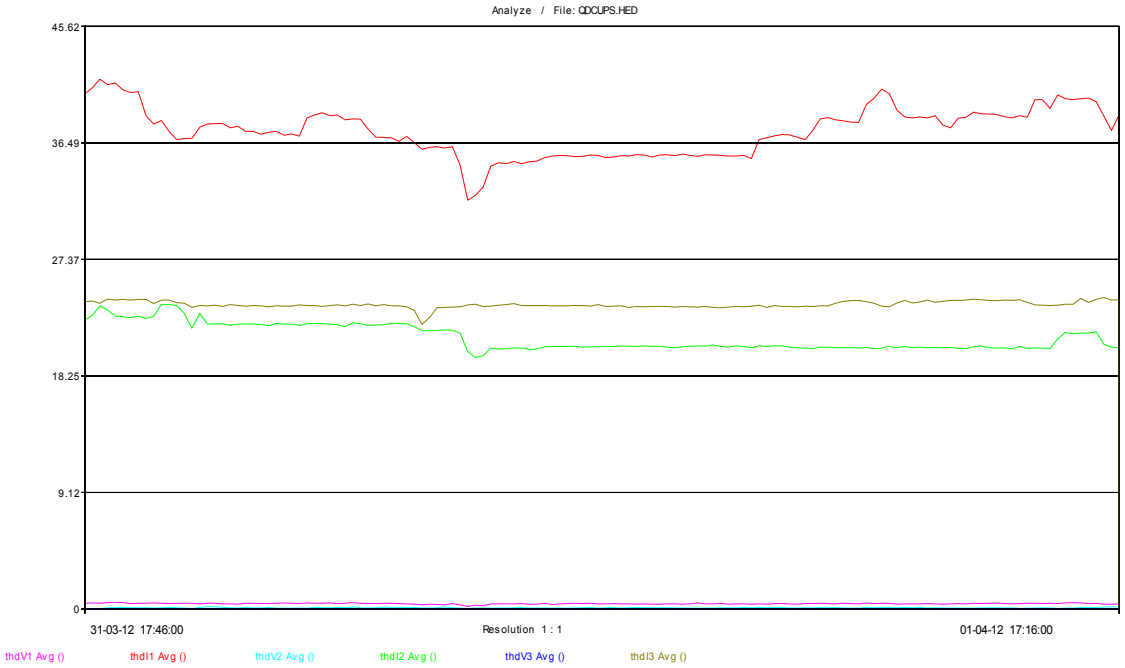


Figura 5.5 – Taxa de distorção harmónica medida no QDcenter (UPS)

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.14 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QDcenter (UPS)

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	1,17	OK
h05 V1	0,00	OK
h07 V1	0,00	OK
h03 V2	0,42	OK
h05 V2	0,00	OK
h07 V2	0,00	OK
h03 V3	0,12	OK
h05 V3	0,00	OK
h07 V3	0,00	OK

	Máximo atingido	IEEE 519-1992 (12%)
h03 I1	4,14	OK
h05 I1	2,09	OK
h07 I1	1,56	OK
h03 I2	3,36	OK
h05 I2	0,63	OK
h07 I2	1,17	OK
h03 I3	3,60	OK
h05 I3	0,00	OK
h07 I3	0,00	OK

Da análise efectuada neste quadro verifica-se que as THDV são bastante baixas, que as THDI são elevadas e que os harmónicos de tensão e corrente também são bastante baixos.

5.2.3.3. QDcenter

O quadro do data-center possui a alimentação de todo o equipamento informático (bastidores, computadores, etc) instalado nesta sala que se encontra no piso -3.

Tabela 5.15 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QDcenter

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	4,58	OK
THD V2	4,64	OK
THD V3	4,61	OK
THD I1	28,83	NOK
THD I2	27,36	NOK
THD I3	28,09	NOK

Relativamente aos valores da taxa de distorção harmónica verifica-se que a taxa de distorção harmónica de corrente é superior ao critério estabelecido e que os valores máximos são obtidos durante o período nocturno, conforme se pode visualizar no gráfico seguinte (entre a 1:00 e as 7:00).

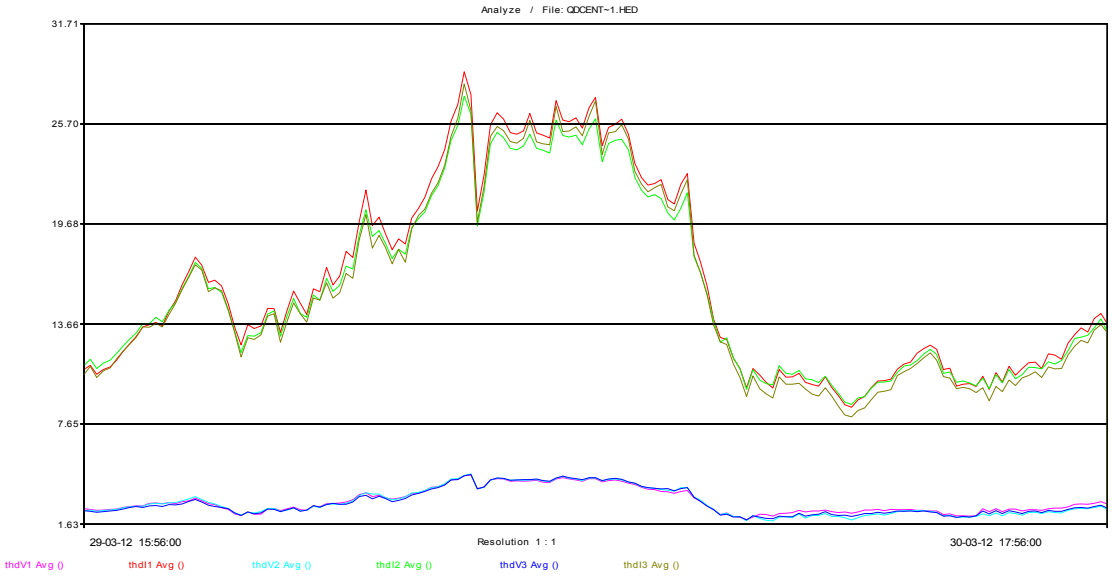


Figura 5.6 – Taxa de distorção harmónica medida no QDcenter

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.16 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QDcenter

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	3,75	OK
h05 V1	10,59	NOK
h07 V1	1,52	OK
h03 V2	2,36	OK
h05 V2	10,49	NOK
h07 V2	1,53	OK
h03 V3	2,93	OK
h05 V3	10,68	NOK
h07 V3	1,87	OK

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (12%)
h03 I1	0,03	OK
h05 I1	5,76	OK
h07 I1	2,52	OK
h03 I2	1,34	OK
h05 I2	5,48	OK
h07 I2	2,47	OK
h03 I3	0,00	OK
h05 I3	5,50	OK
h07 I3	2,58	OK

Em termos de harmónicos individuais de corrente, não se verifica nenhum valor acima do critério estabelecido, no entanto, relativamente aos harmónicos de tensão verifica-se que o 5º harmónico se encontra acima do critério.

5.2.3.4. QEAC B3.1

Este quadro está situado numa área técnica do piso -3 e é o maior dos quadros, em termos de áreas técnicas de Avac. Neste quadro existem diversos variadores de frequência, existe a alimentação de diversas unidades de tratamento de ar e de ventiladores de insuflação e extracção.

Tabela 5.17 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QEAC B3.1

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	4,57	OK
THD V2	4,64	OK
THD V3	4,63	OK
THD I1	68,57	NOK
THD I2	89,94	NOK
THD I3	0,00	OK

Em termos de taxa de distorção harmónica registou-se valores muito superiores ao limite da taxa de distorção harmónica de corrente da fase 1 e fase 2. Na fase 3 verifica-se que a taxa de distorção harmónica de corrente é nula. Esta situação deve-se ao facto de o equilíbrio de consumos durante a análise não existir, ou seja, enquanto por exemplo existem consumos de 62.76 A na fase 1, 57.50 A na fase 2, na fase 3 têm-se 8.00 A (dados recolhidos no dia 2/04 pelas 13:17). Nesta mesma hora verifica-se que a corrente de neutro é de 71,39 e ao longo de toda a medição, verifica-se que a corrente de neutro é sempre superior à corrente das três fases. O aumento da corrente de neutro é provocado pela poluição harmónica da instalação em termos do 3º harmónico e seus múltiplos. No gráfico da figura 5.18 verifica-se uma quebra na distorção que está relacionada com os horários de funcionamento pré-estabelecidos, tendo em conta os programas e utilização da instalação.

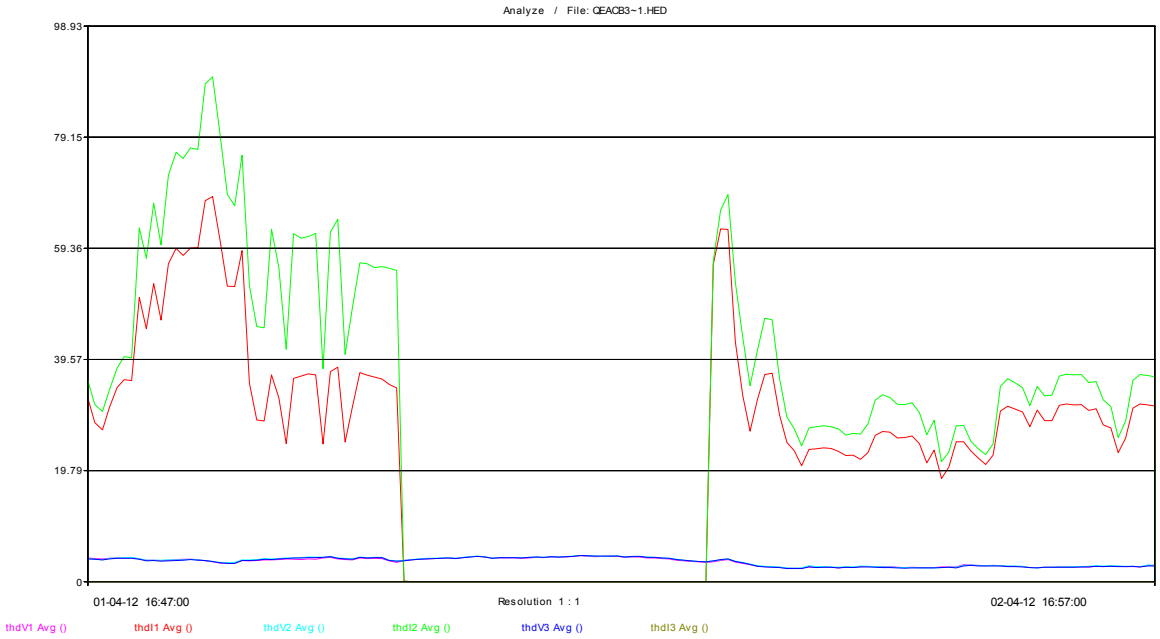


Figura 5.7 – Taxa de distorção harmónica medida no QEAC B3.1

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.18 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QEAC B3.1

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	2,38	OK
h05 V1	10,65	NOK
h07 V1	1,26	OK
h03 V2	2,22	OK
h05 V2	10,77	NOK
h07 V2	1,52	OK
h03 V3	1,28	OK
h05 V3	10,89	NOK
h07 V3	1,32	OK

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (12%)
h03 I1	1,67	OK
h05 I1	11,03	OK
h07 I1	8,44	OK
h03 I2	0,26	OK
h05 I2	11,10	OK
h07 I2	8,61	OK
h03 I3	0,00	OK
h05 I3	0,00	OK
h07 I3	0,00	OK

Neste quadro é perfeitamente perceptível o efeito dos variadores de frequência que provocam o aumento das THD_I. Quanto à THD_V mantém-se constante ao longo do tempo. O harmónico de tensão acima do limite é o 5º.

5.2.3.5. QRR1

O QRR1 situa-se no piso -1 e é o quadro do estúdio de gravação, onde se encontram todos os equipamentos electrónicos de gravação e de som, iluminação e tomadas.

Tabela 5.19 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QRR1

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	4,51	OK
THD V2	4,54	OK
THD V3	4,49	OK
THD I1	100,00	NOK
THD I2	100,00	NOK
THD I3	44,21	NOK

Neste quadro verifica-se uma enorme distorção harmónica de corrente, sendo que na fase 3 a distorção é inferior à fase 1 e 2 devido aos consumos no intervalo de análise. Da análise gráfica, pode-se verificar que a distorção de tensão da fase 1 e 2 é sempre muto idêntica e com valores muito consideráveis e que contribuem fortemente para a distorção existente na instalação.

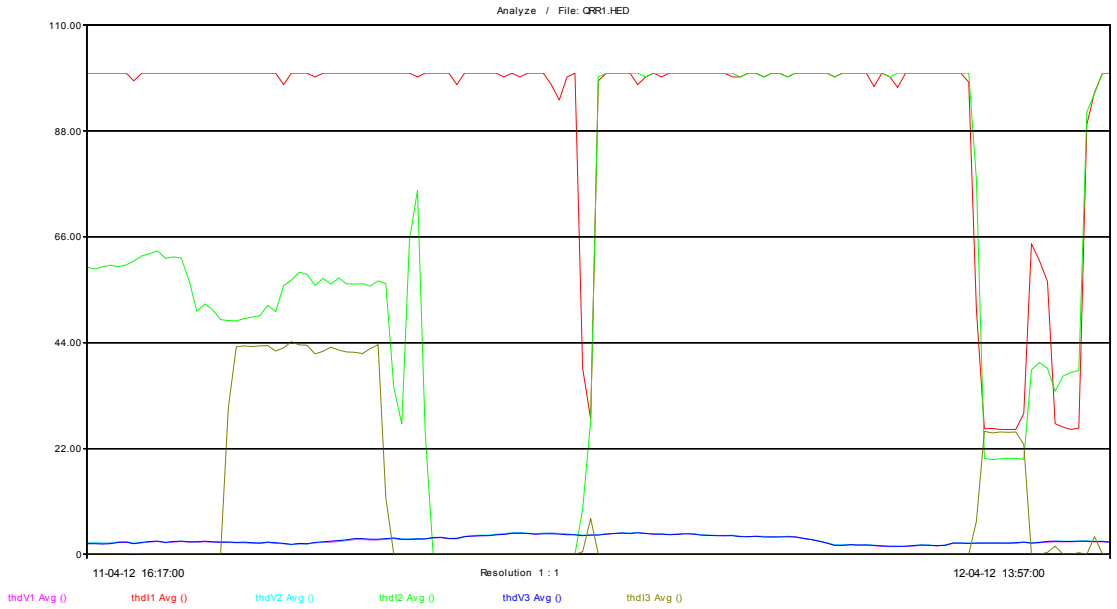


Figura 5.8 – Taxa de distorção harmónica medida no QRR1

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.20 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QRR1

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	1,70	OK
h05 V1	10,69	NOK
h07 V1	1,94	OK
h03 V2	2,59	OK
h05 V2	10,67	NOK
h07 V2	1,31	OK
h03 V3	1,60	OK
h05 V3	10,53	NOK
h07 V3	1,26	OK

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (12%)
h03 I1	2,72	OK
h05 I1	2,72	OK
h07 I1	2,01	OK
h03 I2	2,56	OK
h05 I2	2,28	OK
h07 I2	1,91	OK
h03 I3	1,49	OK
h05 I3	1,16	OK
h07 I3	0,91	OK

Neste quadro verifica-se que os equipamentos electrónicos existentes (estúdio de gravação) provocam elevadas distorções harmónicas de corrente mantendo-se também aqui um valor acima do limite no 5º harmónico de tensão.

5.2.3.6. QSCont

Sendo este quadro um dos principais em termos de eventos, decidiu-se efectuar diversas análises, em dias diferentes, para ter uma maior percepção dos resultados. Neste quadro estão ligados os dimmers de uma das salas de espectáculos, o circuito de tomadas da mesma e toda a iluminação da sala e motores associados à mecânica de cena. Tendo em conta a importância destes quadros efectuou-se a análise com concertos a decorrer.

Tabela 5.21 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSCont

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	4,65	OK
THD V2	4,95	OK
THD V3	4,69	OK
THD I1	84,23	NOK
THD I2	62,03	NOK
THD I3	74,5	NOK

Dos resultados obtidos, verifica-se que existe uma forte distorção harmónica de corrente, que é provocada essencialmente pelos motores e dimmers da sala. Da análise gráfica, verifica-se que a grande distorção ocorre durante a realização do concerto entre as 21:00 e as 23:00.

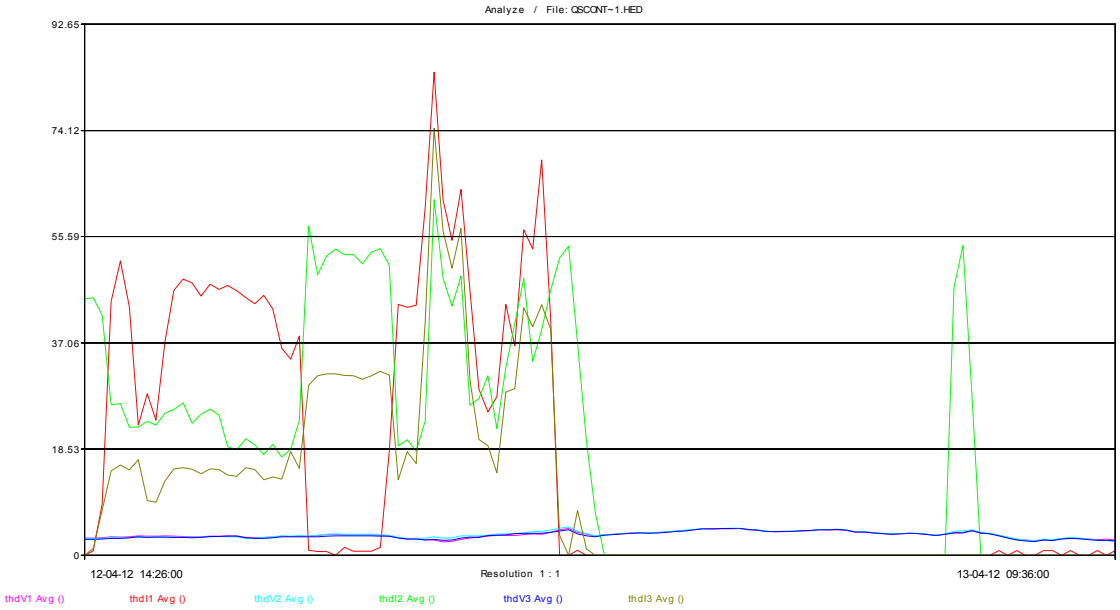


Figura 5.9 – Taxa de distorção harmónica medida no QSCont

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.22 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSCont

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	4,69	OK
h05 V1	10,74	NOK
h07 V1	1,32	OK
h03 V2	3,55	OK
h05 V2	11,11	NOK
h07 V2	1,85	OK
h03 V3	3,93	OK
h05 V3	10,95	NOK
h07 V3	1,92	OK

	Máximo atingido	IEEE 519-1992 (12%)
h03 I1	10,68	OK
h05 I1	8,70	OK
h07 I1	3,96	OK
h03 I2	9,95	OK
h05 I2	6,33	OK
h07 I2	3,58	OK
h03 I3	11,02	OK
h05 I3	8,29	OK
h07 I3	3,47	OK

Verifica-se que o harmónico de tensão mais significativo é o 5º, havendo nas três fases valores idênticos.

5.2.3.6.1. QSCont (14-04-2012)

No segundo dia de análise deste quadro, com outra tipologia de concerto, verifica-se que as taxas de distorção harmónica de tensão e corrente ultrapassam os critérios estabelecidos

Tabela 5.23 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSCont (14-04-2012)

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	5,64	NOK
THD V2	5,77	NOK
THD V3	6,03	NOK
THD I1	58,84	NOK
THD I2	66,00	NOK
THD I3	49,23	NOK

Da análise gráfica consegue-se visualizar vários períodos onde as distorções aumentam e que coincidem com montagens/testes dos equipamentos e o próprio concerto.

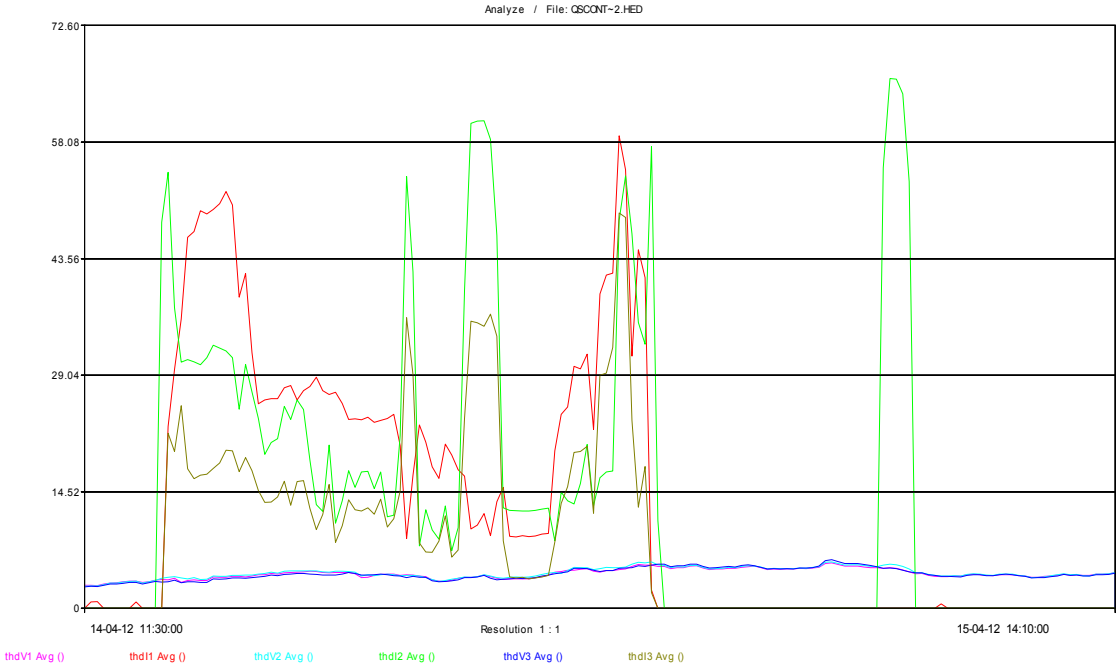


Figura 5.10 – Taxa de distorção harmónica medida no QSCont (14-04-2012)

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.24 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSCont (14-04-2012)

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	4,10	OK
h05 V1	13,00	NOK
h07 V1	3,33	OK
h03 V2	2,99	OK
h05 V2	13,22	NOK
h07 V2	3,49	OK
h03 V3	2,99	OK
h05 V3	14,10	NOK
h07 V3	3,31	OK

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (12%)
h03 I1	6,42	OK
h05 I1	4,22	OK
h07 I1	2,58	OK
h03 I2	8,92	OK
h05 I2	4,81	OK
h07 I2	2,18	OK
h03 I3	10,19	OK
h05 I3	4,58	OK
h07 I3	2,95	OK

Independentemente dos dias em que foram registados os resultados, verifica-se que existe uma forte distorção harmónica de corrente, que os equipamentos alimentados neste quadro são dos principais contribuidores para a poluição harmónica de corrente na instalação.

5.2.3.7. QSD

À semelhança do quadro anterior, também neste foram efectuados registos em dias distintos, tendo resultados semelhantes aos anteriormente referidos. Este quadro tem as funções idênticas ao quadro anterior mas referente a outra sala de espectáculos de dimensões superiores.

Tabela 5.25 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSD

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	5,74	NOK
THD V2	5,93	NOK
THD V3	6,34	NOK
THD I1	44,28	NOK
THD I2	53,21	NOK
THD I3	51,81	NOK

Relativamente às taxas de distorção harmónica verifica-se que ultrapassam os critérios estabelecidos e que este quadro é também um dos principais contribuidores para a taxa de distorção da instalação.

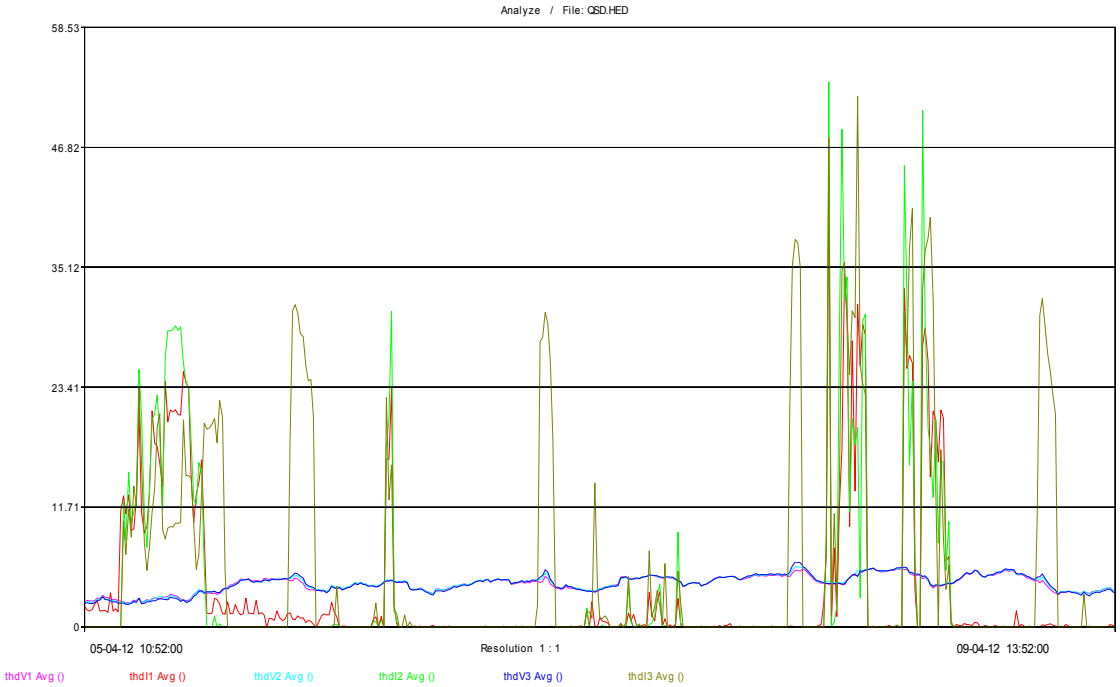


Figura 5.11 – Taxa de distorção harmónica medida no QSD

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.26 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSD

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	3,47	OK
h05 V1	13,04	NOK
h07 V1	3,46	OK
h03 V2	2,96	OK
h05 V2	13,45	NOK
h07 V2	3,72	OK
h03 V3	3,05	OK
h05 V3	14,60	NOK
h07 V3	3,30	OK

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (12%)
h03 I1	12,93	NOK
h05 I1	8,12	OK
h07 I1	3,81	OK
h03 I2	15,42	NOK
h05 I2	6,27	OK
h07 I2	3,25	OK
h03 I3	17,84	NOK
h05 I3	8,30	OK
h07 I3	3,04	OK

Relativamente aos harmónicos de tensão, mantém-se que o 5º harmónico é o que ultrapassa os critérios e neste caso verificou-se que os harmónicos de ordem 3 de corrente nas fases 2 e 3 também ultrapassaram o critério estabelecido. Neste quadro, devido á situação referida, verifica-se em muitos instantes que a corrente do neutro é superior à corrente das fases e normalmente esta tem sempre valores consideráveis.

5.2.3.7.1. QSD (13-04-2012)

Neste dia e com uma tipologia de espectáculo diferente registaram-se valores de taxa de distorção harmónica de corrente idêntica aos anteriores, no entanto a taxa de distorção de tensão não ultrapassou o critério estabelecido.

Tabela 5.27 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSD (13-04-2012)

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	4,56	OK
THD V2	4,72	OK
THD V3	4,97	OK
THD I1	44,14	NOK
THD I2	32,46	NOK
THD I3	33,06	NOK

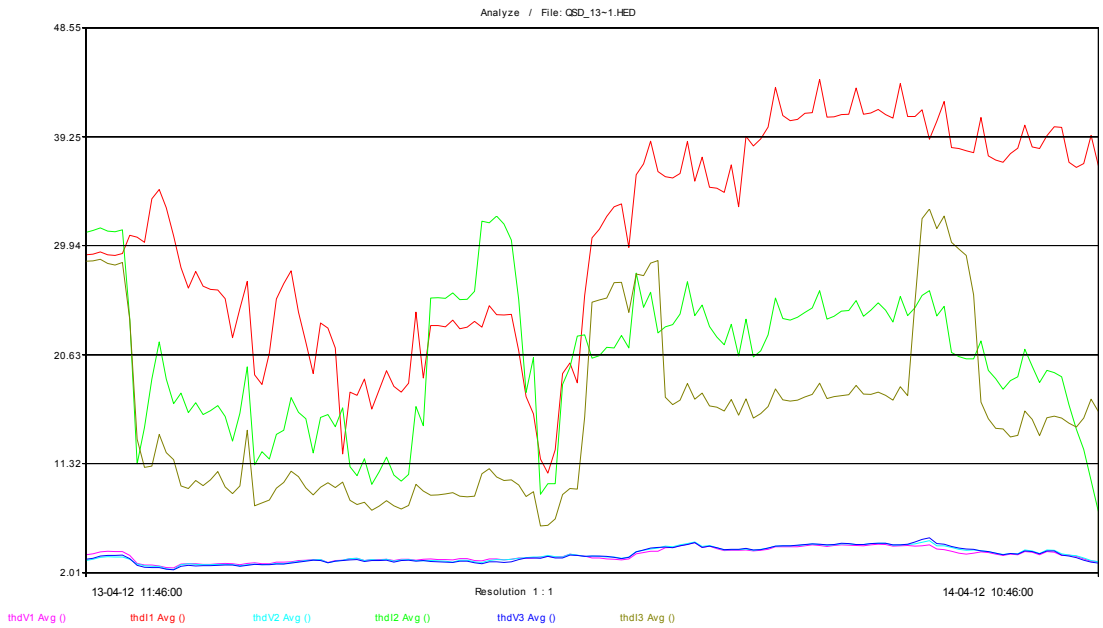


Figura 5.12 – Taxa de distorção harmónica medida no QSD (13-04-2012)

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.28 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSD (13-04-2012)

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	6,49	NOK
h05 V1	10,54	NOK
h07 V1	1,31	OK
h03 V2	5,14	NOK
h05 V2	10,69	NOK
h07 V2	1,65	OK
h03 V3	5,59	NOK
h05 V3	11,60	NOK
h07 V3	1,66	OK

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (12%)
h03 I1	29,83	NOK
h05 I1	10,71	OK
h07 I1	6,16	OK
h03 I2	29,33	NOK
h05 I2	12,22	NOK
h07 I2	7,24	OK
h03 I3	23,15	NOK
h05 I3	13,02	NOK
h07 I3	8,49	OK

Relativamente aos harmónicos de tensão, durante este período, verificou-se a presença de harmónicos de tensão de ordem 3 e 5, nas três fases, superiores ao critério. Relativamente aos harmónicos de corrente, verifica-se a presença do 3º e 5º harmónico. Estes dados reforçam a ideia de que este quadro é um dos principais contribuidores para o aumento da corrente de neutro da instalação e da distorção harmónica existente.

5.2.3.7.2. QSD (15-04-2012)

Neste dia registaram-se valores semelhantes ao primeiro registo.

Tabela 5.29 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSD (15-04-2012)

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	5,10	NOK
THD V2	5,22	NOK
THD V3	5,21	NOK
THD I1	49,98	NOK
THD I2	47,27	NOK
THD I3	43,72	NOK

As taxas de distorção harmónica de corrente e tensão, ultrapassam o critério estabelecido.

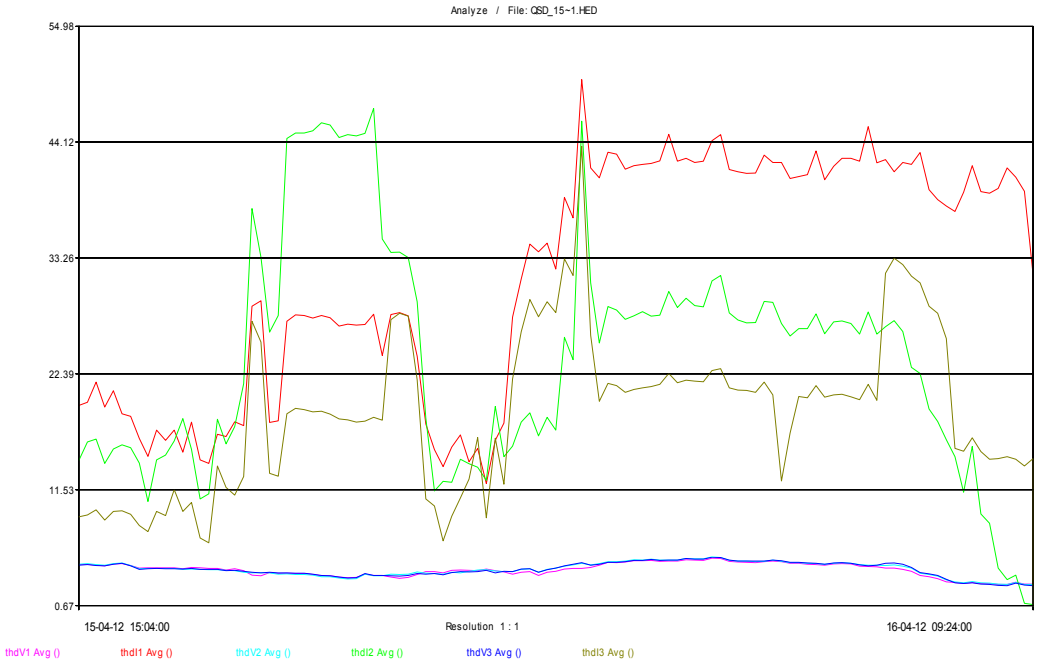


Figura 5.13 – Taxa de distorção harmónica medida no QSD (15-04-2012)

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.30 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSD (15-04-2012)

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	2,99	OK
h05 V1	11,86	NOK
h07 V1	1,96	OK
h03 V2	3,21	OK
h05 V2	11,94	NOK
h07 V2	2,45	OK
h03 V3	2,57	OK
h05 V3	12,22	NOK
h07 V3	1,83	OK

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (12%)
h03 I1	15,08	NOK
h05 I1	7,89	OK
h07 I1	3,95	OK
h03 I2	13,99	NOK
h05 I2	7,68	OK
h07 I2	4,20	OK
h03 I3	10,88	OK
h05 I3	8,01	OK
h07 I3	3,33	OK

Neste período só se verificou a existência do harmónico de tensão de ordem 5 nas três fases e do harmónico de corrente de ordem 3 na fase 1 e 2.

5.2.3.7.3. QSD (19-04-2012)

Após análise dos resultados obtidos até ao momento, verificou-se que os harmónicos de tensão neste quadro eram superiores durante a noite. Neste período os consumos eram diminutos/nulos. Com estes dados decidiu-se realizar um teste de full-off a toda a iluminação.

Tabela 5.31 – Taxa de distorção harmónica máxima medida no QSD (19-04-2012)

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	4,14	OK
THD V2	4,2	OK
THD V3	4,17	OK
THD I1	47,81	NOK
THD I2	39,95	NOK
THD I3	44,11	NOK

Verificou-se com este ensaio que a taxa de distorção harmónica manteve-se constante com o ensaio, que a taxa de distorção harmónica de corrente sofre uma grande quebra, tendendo para zero, com o full-off da iluminação.

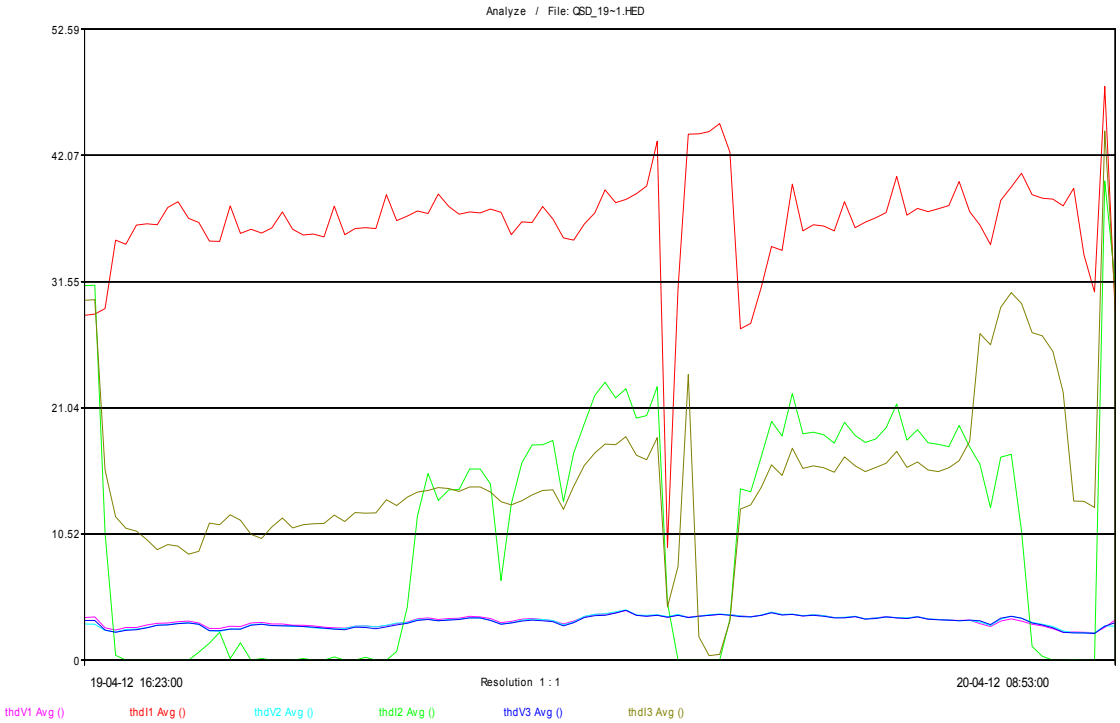


Figura 5.14 – Taxa de distorção harmónica medida no QSD (19-04-2012)

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.32 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos no QSD (19-04-2012)

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	6,55	NOK
h05 V1	9,16	NOK
h07 V1	1,37	OK
h03 V2	4,92	OK
h05 V2	9,14	NOK
h07 V2	2,00	OK
h03 V3	5,83	NOK
h05 V3	9,43	NOK
h07 V3	1,28	OK

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (12%)
h03 I1	29,9	NOK
h05 I1	10,99	OK
h07 I1	5,99	OK
h03 I2	27,92	NOK
h05 I2	12,11	NOK
h07 I2	6,87	OK
h03 I3	23,79	NOK
h05 I3	13,53	NOK
h07 I3	8,47	OK

Após efectuado o teste constata-se que a THD_V se mantem constante ao longo da noite, sendo estas perturbações devido a ups, computadores, variadores e outros equipamentos ligados durante a noite. Quanto à THD_I verifica-se que com o desligar da iluminação sofre uma elevada quebra nas três fases. Com este ensaio conclui-se que a iluminação fluorescente (balastros electrónicos) é o principal poluidor ao nível dos harmónicos de corrente, sendo que as cargas lineares que se mantém ligadas durante a noite contribuem para os valores do 5º harmónico registado.

5.2.3.8. UCI0.2

Para ter a noção dos valores registados pela iluminação, analisou-se duas unidades de controlo. Dos resultados obtidos verifica-se que a iluminação tem um contributo para a THD_V da instalação, tendo em conta a quantidade de armaduras fluorescentes com balastro electrónico. Esta unidade de controlo de iluminação é responsável pela iluminação dos escritórios piso 0.

Tabela 5.33 – Taxa de distorção harmónica máxima medida na UCI 0.2

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	4,34	OK
THD V2	4,33	OK
THD V3	4,44	OK
THD I1	0,00	OK
THD I2	0,00	OK
THD I3	0,00	OK

Nesta unidade constata-se que os valores de distorção harmónica se encontram abaixo dos critérios estabelecidos.

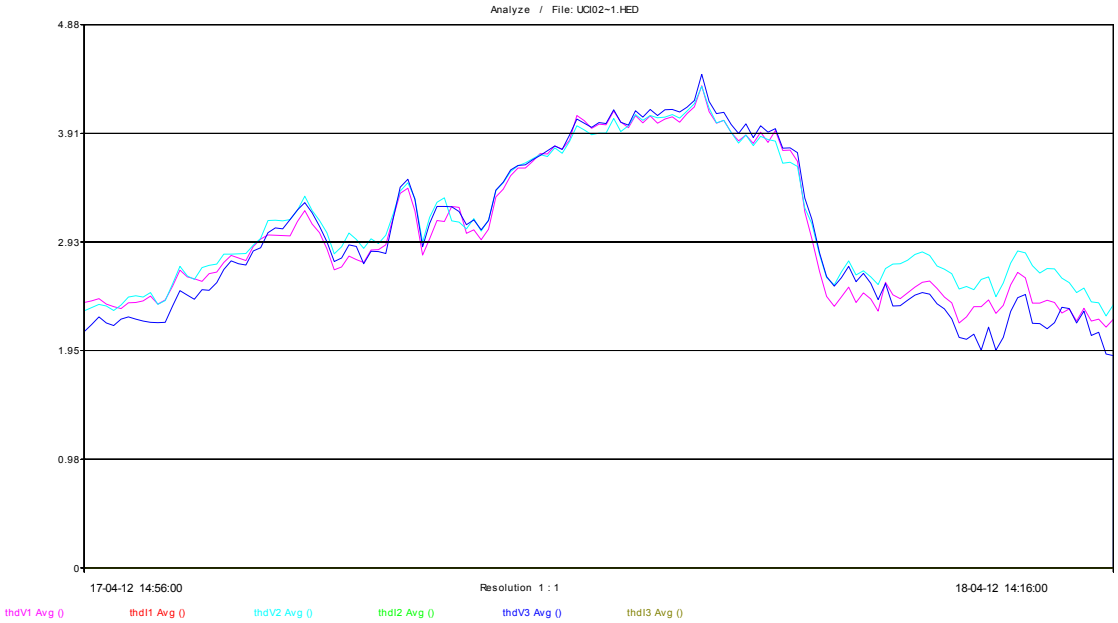


Figura 5.15 – Taxa de distorção harmónica medida na UCI 0.2

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.34 – Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos na UCI 0.2

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	3,48	OK
h05 V1	10,01	NOK
h07 V1	1,85	OK
h03 V2	4,32	OK
h05 V2	9,76	NOK
h07 V2	1,25	OK
h03 V3	3,14	OK
h05 V3	9,93	NOK
h07 V3	1,85	OK

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (12%)
h03 I1	0,00	OK
h05 I1	0,00	OK
h07 I1	0,00	OK
h03 I2	0,00	OK
h05 I2	0,00	OK
h07 I2	0,00	OK
h03 I3	0,00	OK
h05 I3	0,00	OK
h07 I3	0,00	OK

Verifica-se que o harmónico de ordem 5 de tensão ultrapassa o critério estabelecido

5.2.3.9. UCI1.1

Nesta UCI verifica-se que o facto de ter maior carga, provoca um maior valor de distorção harmónica de corrente. Nestes quadros, como em toda a instalação, verifica-se a presença em maior número do 5º harmónico de tensão.

Tabela 5.35 – Taxa de distorção harmónica máxima medida na UCI 1.1

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (THDV-5%) (THDI-15%)
THD V1	4,61	OK
THD V2	4,67	OK
THD V3	4,72	OK
THD I1	8,51	OK
THD I2	10,53	OK
THD I3	8,59	OK

Dos resultados obtidos nesta unidade verifica-se que os valores também se encontram abaixo dos critérios estabelecidos.

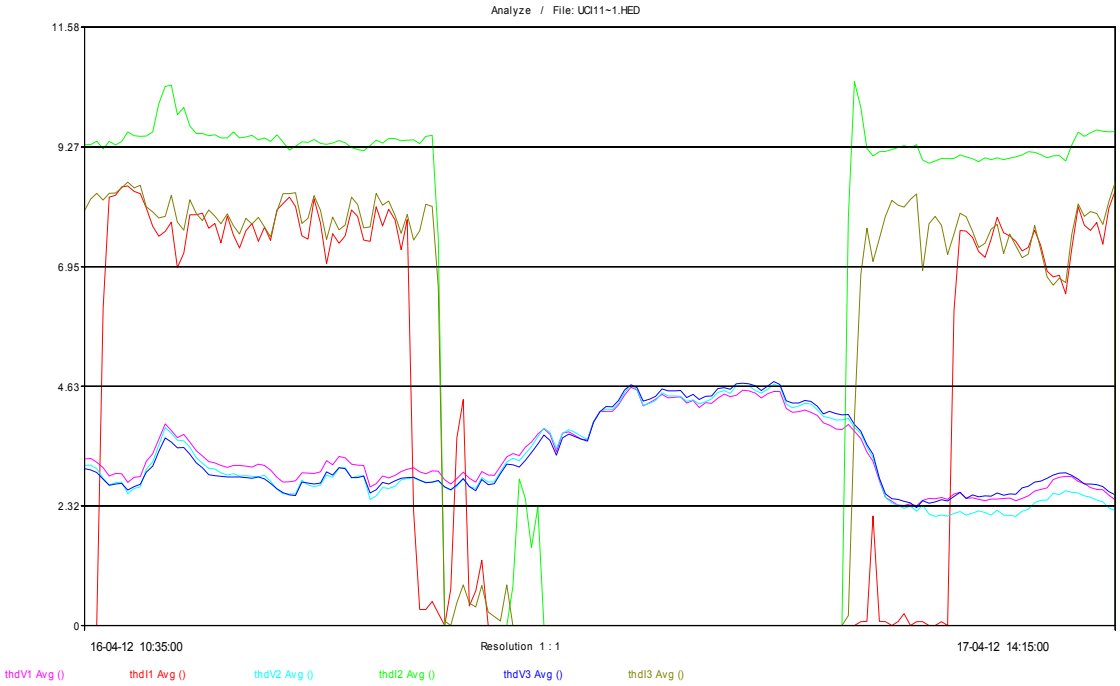


Figura 5.16 – Taxa de distorção harmónica medida na UCI 1.1

Apesar dos valores registados de taxas de distorção harmónica nas duas unidades estudadas estar abaixo dos critérios, o facto de existir uma enorme quantidade/potência de iluminação na instalação leva a que as partes somadas contribuam para a distorção harmónica e sejam dos principais responsáveis pela distorção existente na instalação conforme se pode verificar aquando do ensaio de full-off.

Quanto aos harmónicos individuais:

Tabela 5.36 - Harmónicos individuais máximos de tensão e corrente, medidos na UCI 1.1

	Máximo atingido	EN50160 3º- 5% 5º- 6% 7º- 5%
h03 V1	4,11	OK
h05 V1	10,69	NOK
h07 V1	1,29	OK
h03 V2	3,00	OK
h05 V2	10,53	NOK
h07 V2	1,77	OK
h03 V3	3,51	OK
h05 V3	10,96	NOK
h07 V3	1,88	OK

	Máximo atingido	IEEE-519-1992 (12%)
h03 I1	1,12	OK
h05 I1	0,00	OK
h07 I1	0,00	OK
h03 I2	1,63	OK
h05 I2	0,93	OK
h07 I2	0,00	OK
h03 I3	1,14	OK
h05 I3	0,00	OK
h07 I3	0,00	OK

Verifica-se que o harmónico de tensão de ordem 5 ultrapassa o critério estabelecido.

5.3. Dimensionamentos

Após análise dos resultados obtidos, verifica-se que na instalação existem diversas ordens de harmónicos, que as cargas da instalação variam consoante a actividade nela existente e, por sua vez, o comportamento da componente harmónica da instalação também varia em função dessa mudança de actividade (salas de espectáculo). Tendo em consideração estes aspectos e também a sensibilidade dos equipamentos existentes na instalação e para evitar fenómenos de ressonância optou-se por efectuar o estudo de mitigação harmónica através do dimensionamento de filtros activos. O dimensionamento foi efectuado para 7 dos 9 quadros analisados. Relativamente ao Q.Coz, tendo em conta os valores de distorção obtidos considera-se que o investimento não será justificado. Quanto às unidades de controlo de iluminação é efectuado o dimensionamento para ter a noção técnica/financeira do mesmo, uma vez que a iluminação é dos principais causadores da distorção harmónica existente. A análise/dimensionamento será efectuada de duas formas:

- Valores de corrente instalada no quadro;
- Valores medidos na análise efectuada ao quadro.

Estas duas formas são efectuadas pois após a instalação de um filtro, por exemplo para os valores medidos, poder-se-á continuar a analisar a instalação e se houver a necessidade de aumentar á capacidade do filtro, existe sempre a possibilidade de instalação de mais filtros, sendo que os custos serão repartidos e inferiores. A análise do tipo de equipamento a instalar e o seu custo é efectuada tendo em conta as características técnicas de 2 fornecedores, denominados A e B, e os valores que serão considerados de investimento são valores de tabela.

5.3.1. Dimensionamento técnico

O dimensionamento é efectuado tendo em conta o seguinte:

- I - Corrente total (instalada ou medida) em Ampère;
- I_1 – Corrente fundamental;
- I_D – Corrente harmónica a compensar;
- THDi = $THDi_1$ – Taxa de distorção harmónica de corrente medida;
- $THDi_2$ – Taxa de distorção harmónica a alcançar.

Considera-se também que o valor de $THDi_2$ que se pretende obter é de 10 %, com excepção da iluminação, uma vez que o valor medido era de 10%, efectuando-se neste caso o cálculo para 0%.

I_1 será obtido por: $I_1 = \frac{I}{1+(THDI)^2}$ (5.6)

E I_D por: I_D=I1 (THDi1-THDi2) (5.7)

5.3.1.1. Dimensionamento de filtros tendo em conta a corrente instalada no quadro

Tabela 5.37- Dimensionamento de filtros com a corrente instalada

Quadro	I (A)	THD_i	THD_{i2}	$I_1 = \frac{I}{1+(THDi)^2}$(A)	I_D=I1(THD_{i1}-THD_{i2}) (A)	Filtro a escolher(A) Fornecedor A	Filtro a escolher(A) Fornecedor B
QEAC B3.1	250	0,90	0,1	249,98	199,98	300	270
Qdcenter(UPS)	160	0,25	0,1	150,59	22,59	90	60
QDCenter	250	0,29	0,1	250,00	47,50	90	60
QSCont	400	0,85	0,1	399,97	299,98	300	360
QSD	1600	0,54	0,1	1599,95	703,98	750	900
UCI1.1	125	0,10	0,0	125,00	12,50	90	60
QRR1	200	1,00	0,1	199,98	179,98	180	270

Após o cálculo dos filtros é necessário efectuar a escolha dos mesmos. Nos dois fornecedores consultados existem filtros de valores distintos pelo que se vai reflectir nos custos de cada um deles. Por exemplo para o QDcenter (UPS) o fornecedor A tem no mínimo um filtro de 90 A, enquanto o fornecedor B tem um de 60 A.

5.3.1.2. Dimensionamento de filtros tendo em conta a corrente medida

Tabela 5.38- Dimensionamento de filtros com a corrente medida

Quadro	I (A)	THD_i	THD_{i2}	$I_1=\frac{I}{1+(THDi)^2}$(A)	$I_D=I1(THD_{i1}-THD_{i2})$ (A)	Filtro a escolher(A) Fornecedor A	Filtro a escolher(A) Fornecedor B
QEAC B3.1	194,77	0,90	0,1	194,75	155,80	180	180
Qdcenter(UPS)	42,13	0,25	0,1	39,65	5,95	90	60
QDCenter	85,21	0,29	0,1	85,21	16,19	90	60
QSCont	155,26	0,85	0,1	155,25	116,44	180	135
QSD	341,60	0,54	0,1	341,59	150,30	180	180
UCI1.1	44,11	0,10	0,0	44,11	4,41	90	60
QRR1	38,72	1,00	0,1	38,72	34,84	90	60

Considerando os valores medidos verifica-se que os quadros estão sobredimensionados e que com este valores se reduz significativamente os filtros necessários. No entanto esta redução do tipo de filtro só será sentida nos filtros de maior dimensão, uma vez que os fornecedores só têm, no mínimo, equipamentos de 90 e 60 A respectivamente.

5.3.2. Dimensionamento económico

Tendo em conta que não existem indicadores de custo/problemas/avarias provocados pelos harmónicos, não será ainda possível estabelecer uma análise económica relativamente ao prazo de amortização em função da diminuição de custos. No entanto apresenta-se de seguida o custo (preços de tabela) para cada tipologia de filtros e quadros.

5.3.2.1. Dimensionamento económico de filtros tendo em conta a corrente instalada no quadro

Tabela 5.39- Dimensionamento económico de filtros com a corrente instalada

Quadro	Custos Fornecedor A	Custos Fornecedor B
QEAC B3.1	29.095,00 €	14.400,00 €
Qdcenter(UPS)	18.032,00 €	6.400,00 €
QDCenter	18.032,00 €	6.400,00 €
QSCont	29.095,00 €	17.300,00 €
QSD	84.602,00 €	69.000,00 €
UCI1.1	18.032,00 €	6.400,00 €
QRR1	20.128,00 €	14.400,00 €
total	217.016,00 €	134.300,00 €

Verifica-se uma grande diferença do fornecedor A para o B, no entanto esta situação prende-se pelo facto de a oferta do fornecedor A ser mais limitada, o que leva por vezes a um sobredimensionamento muito grande do filtro e que irá também levar a custos mais elevados.

Nos casos em que existem valores iguais de filtros verifica-se também que o fornecedor B continua a ser o mais competitivo.

5.3.2.2. Dimensionamento económico de filtros tendo em conta a corrente medida no quadro

Tabela 5.40- Dimensionamento económico de filtros com a corrente medida

Quadro	Custos Fornecedor A	Custos Fornecedor B
QEAC B3.1	20.128,00 €	11.500,00 €
Qdcenter(UPS)	18.932,00 €	6.400,00 €
QDCenter	18.932,00 €	6.400,00 €
QSCont	20.128,00 €	9.300,00 €
QSD	20.128,00 €	11.500,00 €
UCI1.1	18.932,00 €	6.400,00 €
QRR1	18.932,00 €	6.400,00 €
total	136.112,00 €	57.900,00 €

Com o dimensionamento de filtros, utilizando os valores medidos, consegue-se quer no fornecedor A quer no B uma significativa redução de custos. Este impacto é mais sentido no fornecedor A que devido às limitações de oferta que se sentiam anteriormente serem agora optimizadas.

Capítulo 6

Conclusão

Nas instalações de grande complexidade, cada vez é mais importante efectuar uma análise dos problemas/interferências que aparecem nas mesmas.

Com a realização deste trabalho verificou-se que o fenómeno de maior relevância para os problemas detectados na instalação é a presença de harmónicos e a distorção harmónica.

Após análise dos dados recolhidos verifica-se que estão presentes na instalação harmónicos de ordens diversas (3º, 5º, 7º). Dos quadros eléctricos e equipamentos neles existentes que foram analisados, constata-se que os principais responsáveis pela poluição harmónica existente na instalação são a iluminação fluorescente, os variadores de frequência, os dimmers e os equipamentos de gravação. Quanto à existência dos harmónicos de tensão estes são mais relevantes nos quadros das duas salas de espectáculos (QSD e QSCont) e quando se desliga a iluminação fluorescente os harmónicos de corrente e a sua taxa de distorção tendem para zero. A presença de harmónicos, para além da distorção das formas de onda, provoca diversos problemas nos equipamentos e seus componentes da instalação dos quais se salienta:

- O aumento das perdas através do aquecimento dos condutores que levam a um aumento dos consumos, a existência de ruídos e vibrações resultando numa redução do tempo de vida útil dos transformadores;
- O aquecimento e a redução do tempo de vida útil dos motores da mecânica de cena;
- O disparo indevido dos semicondutores de potência controlados por reguladores de tensão;
- A diminuição do tempo de vida útil das lâmpadas devido ao efeito de “flicker”;
- Interferências nos equipamentos de comunicação.

Devido a estes problemas torna-se necessário efectuar a instalação de filtros activos na instalação, com o intuito de mitigar a presença de harmónicos e diminuir as taxas de distorção harmónica para valores abaixo dos critérios estabelecidos.

A opção de dimensionamento de filtros activos prende-se com o facto de existir uma grande variação das cargas da instalação, da existência de harmónicos de ordens diversas, devido à sensibilidade dos equipamentos existentes na instalação, com a finalidade de evitar fenómenos de ressonância, também porque seria complicado alterar secções da cablagem e o transformador já se encontra sobredimensionado para as necessidades da instalação.

Após dimensionamento económico dos filtros, constata-se que o investimento é bastante elevado e que terá que ser ponderado. Verifica-se também que existe uma grande diferença entre os valores apresentados pelos dois fornecedores. Esta diferença prende-se com o facto de existir uma gama de oferta distinta nos dois fornecedores, uma vez que por exemplo para o QDCenter (UPS) o fornecedor A tem um filtro de 90 e o fornecedor B apresenta um filtro de 60, que é suficiente para as necessidades de compensação.

Relativamente ao elevado consumo energético e tendo em conta que a instalação possui 2 transformadores em paralelo de 1250 kVA propôs-se desligar um deles, devido às elevadas perdas dos mesmos e tendo em conta as cargas a que se encontram sujeitos.

Relativamente à energia reactiva da instalação e tendo em conta que possui uma bateria de 630 kVAr, que é suficiente, e como os escalões são todos de 90 kVAr, por vezes é necessário um escalão de valor inferior o que leva a que a instalação atinga valores inferiores ou próximos de 0,96. Neste sentido propôs-se a substituição de um escalão de 90 por um escalão duplo de 30+60 kVAr, mantendo as protecções e cablagens existentes.Com esta alteração a instalação passaria a ter uma maior capacidade de ajustamento da bateria às necessidades de compensação.

6.1. Trabalhos futuros

Após conclusão deste trabalho e tendo em conta os resultados obtidos, existem situações que deverão ser analisadas/estudadas no futuro:

- Em termos de instalação de filtros activos, tendo em conta o seu elevado investimento, será de todo aconselhado efectuar uma análise mais aprofundada dos problemas e custos de avarias provocadas pelos harmónicos. Deverá ser efectuada uma análise para toda a instalação das perdas que os harmónicos estão a provocar. Apenas com estes dados se poderá ter a noção da relação entre o custo do investimento e o ganho com a diminuição dos problemas, bem como o prazo de retorno do investimento;
- Apesar de já estar acordado com um dos fornecedores a instalação, a título de teste, de um filtro activo, não foi possível, por questões de logística, efectuar o teste no decorrer do período deste trabalho, pelo que será então efectuado posteriormente e com a finalidade de comprovar o seu funcionamento, comportamento e dimensionamento;
- Quanto à bateria de condensadores e não tendo tido acesso a facturas após desligar um dos transformadores, deverá ser ponderada a necessidade de trocar um escalão de 90 por 1 escalão duplo de 30+60 o que tecnicamente é viável, no entanto os custos que a instalação tem com a energia reactiva poderão não justificar o investimento a efectuar.

Referências

[1] CTE 8 (IEP), Características da Tensão fornecida pelas redes de distribuição pública de energia eléctrica (NP EN 50160), Portugal, IPQ, Dezembro de 2010

[2] Lopes, João Abel Peças, Instalações Eléctricas Industriais-Perturbações na Tensão e seus Impactos na Exploração de Redes Eléctricas Industriais, Porto - Feup.

[3] Baptista, José Manuel Ribeiro, Análise harmónica em instalações Eléctricas BT, Harmosim - uma ferramenta eficiente de simulação, Portugal, UTAD-2006.

[4] Despacho Nº7253/2010,"D. R. 2ªSérie, Parte E" Nº 80, pp 21945-21949, 26 de Abril de 2010.

[5] Santos, J. Neves dos,Compensação do Factor de Potência, Porto - FEUP, Abril de 2006.

[6] Schneider Electric,Compensação de energia reactiva e Filtragem de harmónicas B.T., Lisboa, Portugal, Março de 2010.

[7] Santos, Felipe Menezes Ferreira, Qualidade de energia – comparação das Normas IEC 61000-3-2 e IEEE 519, Rio de Janeiro-Universidade Federal, Fevereiro de 2003.

[8] IEEE STANDARD 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, 1992.

[9] "URL: www.sinus-pq.com," projecto SINUS - Tecnologia para Compensação Dinâmica de Harmónicos, Factor de Potência e Desequilíbrios.

[10] Ribeiro, Enio Roberto,Filtros ativos série para a compensação de harmônicas de Tensão, Florianópolis, Fevereiro de 2003.

[11] "DL 71/2008," Regulamentação do sistema de gestão dos consumos intensivos de energia (SGCIE), Abril de 2008.

[12] “DL 78/2006,”Regulamentação do sistema nacional de certificação energética, 4 de Abril de 2006.

[13] “DL 79/2006,” Regulamentação dos sistemas energéticos de climatização dos edifícios (RSECE), 4 de Abril de 2006.

[14] “DL 80/2006,” Aprovação do regulamento das características do comportamento térmico dos edifícios (RCCTE), 4 de Abril de 2006.

[15] “URL: www.adene.pt,”ADENE- Agência para a energia.

[16] “LEEC-Gestão de energia eléctrica,”- Auditorias de energia e ORC´s, FEUP.

[17] S.A Tomé, João Jacinto, Telas Finais da Instalação, Porto, 2006.

[18] HT Italia,GSC-53/N/57/59,Italia,HT Italia,2007.

[19] “URL: www.efacec.pt,” EFACEC.

[20] Afonso, J.L., Silva, H.R., Martins, J.S., Active Filters for Power Quality Improvement, IEEE Porto Power Tech' 2001, Porto, Portugal, 10-13 Set. 2001.

[21] Afonso, J., Aredes, M.,Watenabe , E., Shunt Active Filter for Power Quality Improvement, International Conference UIE 2000, Lisboa, Portugal, pp 683-691, Novembro de 2000.

[22] Henderson, R.D., Rose P.J., Harmonics:The Effects on Power Quality and transformers, IEEE Trans. Industry Applications, vol 30, pp.528-532,1994.

[23] IEEE Task Force, Effects of Harmonics on Equipments, IEEE Trans. Power Delivery, vol 8, no. 2, pp. 672-680, Abril de 1993.

[24] IEC 61000-3-4: Electromagnetic Compatibility (EMC),Part 3: Limits-Section 4: Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment input current > 16A per phase)." International Electrotechnical Commision, 1995.

[25] J. Arrillaga and N. Watson, Power System Harmonics. New York: John Wiley and Sons, 2003.

[26] Martins, J.S., Couto, C., Afonso, J. L., Qualidade de Energia Eléctrica, CLME'2003, Guimarães, Portugal, pp 219-231 Agosto de 2003

[27] Monteiro, Maria de Fátima C., Estudo e Análise da Propagação Harmónica em Sistemas de Energia Eléctrica, Porto, FEUP-Dissertação MIEEC, Novembro 2008.

[28] Paiva, José Pedro Sucena, Redes de Energia Eléctrica-Uma análise sistémica, Lisboa, Portugal, IST Press, Abril de 2005.

[29] Qualidade da Energia," Workshop: Instalações Eléctricas de Baixa Tensão, Schneider Electric, Procobre.

[30] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, and H. W. Beaty, Electrical Power Systems Quality. New York: Mc Graw Hill, 1996.

[31] Correia, Paulo Jorge de Figueiredo, O impacto dos problemas de qualidade de energia em instalações eléctricas, o caso particular das perturbações harmónicas, Coimbra-FCTUC, Janeiro de 2007.

[32] Guedes, Manuel Vaz, Máquinas eléctricas I - apontamentos, Feup, 2003.

[33] Chapman, David, Guia de aplicação de qualidade de energia, Londres, Julho de 2002.

[34] Oliveira, Afonso, Auditoria SGCIE, Porto, Setembro de 2010.

[35] "URL: www.cydesa.com,"Cydesa.

[36] "URL: www.frako.com," Frako.

[37] "URL: www.iso-sigma.pt," Iso- Sigma.

[38] "URL: www.qenergia.pt," Qenergia - Qualidade e gestão de energia.

[39] "URL: www.schneider-electric.com,"Schneider Electric.

[40] "URL: www.edp.pt," EDP.

Anexo

Equipamento utilizado para análise

O equipamento utilizado foi um HT GSC 53N [16]:

Figura 1- Equipamento utilizado para análise

Características do equipamento (HT GSC53N):

GSC53N – Acessórios Standard

- **Descrição:**

  - Conjunto 4 cabos (2m), 4 crocodilos;
  - Alimentador externo;
  - Conjunto de 3 Pinças flexíveis 1000/3000A - diâmetro 174 mm;
  - Programa de gestão para ambiente Windows (Toplink);
  - Cabo de ligação série RS-232;

Características técnicas:

- **MEDIÇÃO DE TENSÃO – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS (ESCALA AUTOMÁTICA)**

Escala [V]	Resolução [V]	Precisão	Impedância de entrada
15 ÷ 310	0.2	±(0.5% leitura + 2 dgt)	300kΩ (Fase-Neutro) 300kΩ (Fase-Fase)
310 ÷ 600	0.4		

- **MEDIÇÃO DE ANOMALIAS DE TENSÃO – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS (selecção MANUAL da ESCALA)**

Escala [V]	Resolução (Tensão)	Resolução (Tempo)	Precisão (Tensão)	Precisão (ref. 50Hz) (Tempo)	Impedância de entrada
15 ÷ 310	0.2V	½ periodo (10ms)	±(1.0% leitura + 2 dgt)	± 10ms	300kΩ (Fase-Neutro) 300kΩ (Fase-Fase)
30 ÷ 600	0.4V				

- **MEDIÇÃO DE CORRENTE ATRAVÉS DE PINÇA EXTERNA – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS**

Fundo da escala (*)	Resolução [mV]	Precisão	Impedância d'entrada	Protecção contra sobrecargas
0.005 ÷0.26V	0.1	±(0.5% leitura + 2 dgt)	200kΩ	5V
0.26 ÷1V	0.4			

(*): Exemplo: utilizando uma pinça com fundo de escala igual a 1000A/1V, o instrumento mede correntes superiores a 5*

- **MEDIÇÃO DE CORRENTE COM PINÇA FlexINT (só GSC53N), escala 1000A – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS**

Fundo da escala (A)	Tensão de entrada	Resolução	Precisão
10.0 ÷19.9	950.0µV ÷ 1.691mV	8.5µV	±(4.0%leitura+8.5µV)
20.0 ÷ 99.9	1.7mV ÷ 8.491mV		±(1.0%leitura+8.5µV)
100.0 ÷ 999.9	8.5mV ÷ 84.99mV		±(1.0%leitura+85µV)

1A = 85µV ; Rentrada = 400kΩ

- **MEDIÇÃO DE CORRENTE COM PINÇA FlexINT (só GSC53N), escala 3000A – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS**

Fundo da escala (A)	Tensão de entrada	Resolução	Precisão
30.0 ÷ 999.9	2.55mV ÷ 84.99mV	8.5µV	±(1.0%leitura+17µV)
1000 ÷ 3000	85.0mV ÷ 255mV	85µV	±(0.5%leitura+85µV)

1A = 85µV ; Rentrada = 400kΩ

- **MEDIÇÃO DE POTÊNCIA – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS**

Tipo Medição	Escala	Precisão	Resolução
POTÊNCIA ACTIVA	100.0 ÷ 999.9W 1.000 ÷ 9.999kW 10.00 ÷ 99.99kW 100.0 ÷ 999.9kW 1.000 ÷ 9.999MW 10.00 ÷ 99.99MW 100.0 ÷ 999.9MW		0.1W 0.1kW 0.1MW 1MW
POTÊNCIA REACTIVA	100.0 ÷ 999.9VAR 1.000 ÷ 9.999kVAR 10.00 ÷ 99.99kVAR 100.0 ÷ 999.9kVAR 1.000 ÷ 9.999MVAR		0.1VAR 0.1kVAR 0.1MVAR 1MVAR

	10.00 ÷ 99.99MVAR 100.0 ÷ 999.9MVAR		
POTÊNCIA APARENTE	100.0 ÷ 999.9VA 1.000 ÷ 9.999kVA 10.00 ÷ 99.99kVA 100.0 ÷ 999.9kVA 1.000 ÷ 9.999MVA 10.00 ÷ 99.99MVA 100.0 ÷ 999.9MVA	±(1.0%Leitura + 2 dgt)	0.1VA 0.1kVA 0.1MVA 1MVA
ENERGIA ACTIVA (Classe2 EN61036)	100.0 ÷ 999.9Wh 1.000 ÷ 9.999kWh 10.00 ÷ 99.99kWh 100.0 ÷ 999.9kWh 1.000 ÷ 9.999MWh 10.00 ÷ 99.99MWh 100.0 ÷ 999.9MWh		0.1Wh 0.1kWh 0.1MWh 1MWh
ENERGIA REACTIVA (Classe3 IEC1268)	100.0 ÷ 999.9VARh 1.000 ÷ 9.999kVARh 10.00 ÷ 99.99kVARh 100.0 ÷ 999.9kVARh 1.000 ÷ 9.999MVARh		0.1VARh 0.1kVARh 0.1MVARh 1MVARh

● **MEDIÇÃO DO Cosφ – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS**

Cosφ	Resolução	Precisão expressa em graus [°]
0.20	0.01	0.6
0.50		0.7
0.80		1.0

● **MEDIÇÃO DE HARMÓNICOS – SISTEMAS MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS**

Escala	Precisão de base	Resolução Máxima
CC – 25H	±(5% + 2 dgt)	0.1V / 0.1A
26H – 33H	±(10% + 2 dgt)	
34H – 49H	±(15% + 2 dgt)	

Os harmónicos são levados a zero nos seguintes patamares:
CC: se <2% do 1° harmónico ou se < 0,2% do Fundo da escala das Pinças
1° harmónica: se <0,2% do Fundo da escala das Pinças
2° ÷ 49°: se <2% do 1° harmónico ou se < 0,2% do Fundo da escala das Pinças
A definição FLEX desactiva a medição dos Componentes CC

● **MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS (Função AUX)**

Escala	Precisão	Resolução
-20°C ÷ 80 °C	±(2% Leitura + 2dgt)	0.1 °C
0 ÷ 100% UR		0.1% UR
0.001Lux ÷ 20.00 Lux		0.001 ÷ 0.02 Lux
0.1Lux ÷ 2000 Lux		0.1 ÷ 2 Lux
1Lux ÷ 20 kLux		1 ÷ 20 Lux

(*) A precisão para a sonda luxímétrica HT53 está conforme a classe AA

● **MEDIÇÃO DAS CORRENTES DE FUGA (através de Pinça opcional)**

Escala [mA] (*)	Resolução [mA]	Precisão	Impedância de entrada	Protecção contra sobrecargas
0.5 ÷ 999.9	0.1	±(5% leitura + 2dgt)	200kΩ	5V

(*): Durante a gravação o instrumento só memoriza valores de corrente > 5mA com resolução 1mA
O valor máximo gravado é o valor de pico calculado com tempo de resposta de 1ms

Figura 2- Características técnicas do equipamento de medição [16]

Software de análise (Toplink):

Para a visualização e análise dos dados foi utilizado o software do equipamento GSC 53 N, que é o Toplink.

O Toplink é uma ferramenta que permite efectuar o download da informação recolhida, funciona como osciloscópio e permite efectuar uma análise em tabelas e em gráficos.

Figura 3 - Vista genérica do software

Após abertura/escolha do ficheiro a analisar (depois de ter sido efectuado o download) o toplink permite que se escolha os parâmetros a analisar.

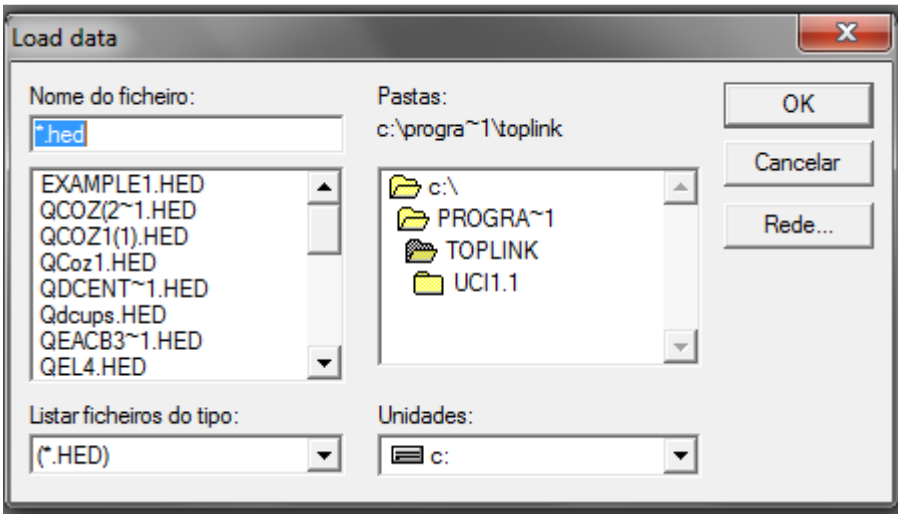


Figura 4 - Escolha do ficheiro a analisar

Os parâmetros disponíveis para selecção e análise são os que previamente foram seleccionados para análise e, no que diz respeito aos harmónicos individuais, são as ordens que foram encontradas ao longo da análise.

St/E+	St/E-	Pt/E+	Pt/E-					Pfti+	Pftc+	Pfti-	Pftc-	Qti/E+	Qtc/E+	Qti/E-	Qtc/E-
Freq	Inull							dpfti+	dpftc+	dpfti-	dpftc-				
V1	I1	thdV1	thdI1	dpf1i+	dpf1c+	dpf1i-	dpf1c-	V12							
S1/E+	S1/E-	P1/E+	P1/E-	Pf1i+	Pf1c+	Pf1i-	Pf1c-	Q1i/E+	Q1c/E+	Q1i/E-	Q1c/E-				
dcV1	h01V1	h02V1	h03V1	h04V1	h05V1	h06V1	h07V1	h08V1	h09V1	h10V1	h11V1	h12V1	h13V1	h14V1	h15V1
h16V1	h17V1	h18V1	h19V1	h20V1	h21V1	h22V1	h23V1	h24V1	h25V1	h26V1	h27V1	h28V1	h29V1	h30V1	h31V1
h32V1	h33V1	h34V1	h35V1	h36V1	h37V1	h38V1	h39V1	h40V1	h41V1	h42V1	h43V1	h44V1	h45V1	h46V1	h47V1
h48V1	h49V1	dcI1	h01I1	h02I1	h03I1	h04I1	h05I1	h06I1	h07I1	h08I1	h09I1	h10I1	h11I1	h12I1	h13I1
h14I1	h15I1	h16I1	h17I1	h18I1	h19I1	h20I1	h21I1	h22I1	h23I1	h24I1	h25I1	h26I1	h27I1	h28I1	h29I1
h30I1	h31I1	h32I1	h33I1	h34I1	h35I1	h36I1	h37I1	h38I1	h39I1	h40I1	h41I1	h42I1	h43I1	h44I1	h45I1
h46I1	h47I1	h48I1	h49I1												
V2	I2	thdV2	thdI2	dpf2i+	dpf2c+	dpf2i-	dpf2c-	V23							
S2/E+	S2/E-	P2/E+	P2/E-	Pf2i+	Pf2c+	Pf2i-	Pf2c-	Q2i/E+	Q2c/E+	Q2i/E-	Q2c/E-				
dcV2	h01V2	h02V2	h03V2	h04V2	h05V2	h06V2	h07V2	h08V2	h09V2	h10V2	h11V2	h12V2	h13V2	h14V2	h15V2
h16V2	h17V2	h18V2	h19V2	h20V2	h21V2	h22V2	h23V2	h24V2	h25V2	h26V2	h27V2	h28V2	h29V2	h30V2	h31V2
h32V2	h33V2	h34V2	h35V2	h36V2	h37V2	h38V2	h39V2	h40V2	h41V2	h42V2	h43V2	h44V2	h45V2	h46V2	h47V2
h48V2	h49V2	dcI2	h01I2	h02I2	h03I2	h04I2	h05I2	h06I2	h07I2	h08I2	h09I2	h10I2	h11I2	h12I2	h13I2
h14I2	h15I2	h16I2	h17I2	h18I2	h19I2	h20I2	h21I2	h22I2	h23I2	h24I2	h25I2	h26I2	h27I2	h28I2	h29I2
h30I2	h31I2	h32I2	h33I2	h34I2	h35I2	h36I2	h37I2	h38I2	h39I2	h40I2	h41I2	h42I2	h43I2	h44I2	h45I2
h46I2	h47I2	h48I2	h49I2												
V3	I3	thdV3	thdI3	dpf3i+	dpf3c+	dpf3i-	dpf3c-	V31							
S3/E+	S3/E-	P3/E+	P3/E-	Pf3i+	Pf3c+	Pf3i-	Pf3c-	Q3i/E+	Q3c/E+	Q3i/E-	Q3c/E-				
dcV3	h01V3	h02V3	h03V3	h04V3	h05V3	h06V3	h07V3	h08V3	h09V3	h10V3	h11V3	h12V3	h13V3	h14V3	h15V3
h16V3	h17V3	h18V3	h19V3	h20V3	h21V3	h22V3	h23V3	h24V3	h25V3	h26V3	h27V3	h28V3	h29V3	h30V3	h31V3
h32V3	h33V3	h34V3	h35V3	h36V3	h37V3	h38V3	h39V3	h40V3	h41V3	h42V3	h43V3	h44V3	h45V3	h46V3	h47V3
h48V3	h49V3	dcI3	h01I3	h02I3	h03I3	h04I3	h05I3	h06I3	h07I3	h08I3	h09I3	h10I3	h11I3	h12I3	h13I3
h14I3	h15I3	h16I3	h17I3	h18I3	h19I3	h20I3	h21I3	h22I3	h23I3	h24I3	h25I3	h26I3	h27I3	h28I3	h29I3
h30I3	h31I3	h32I3	h33I3	h34I3	h35I3	h36I3	h37I3	h38I3	h39I3	h40I3	h41I3	h42I3	h43I3	h44I3	h45I3

Figura 5 - Parâmetros passíveis de ser analisados (a vermelho)

Após selecção do(s) parâmetro(s) a analisar pode-se então verificar quais os valores registados.

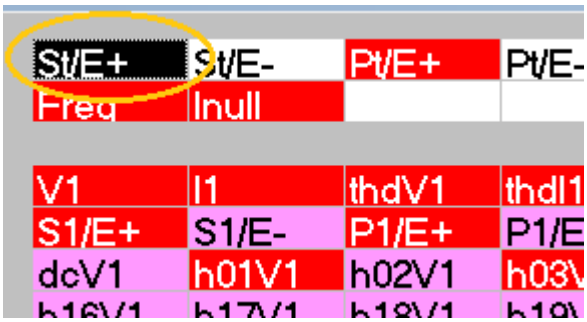


Figura 6 - Escolha de um parâmetro para análise

Todos os parâmetros registados, quer sejam tabelas ou gráficos, podem ser exportados para Excel, podendo também ai utilizar as ferramentas disponíveis para uma melhor análise.

Analyze

	Date & Time	St/E+ Avg (VA)
1	04-04-12 09:32:00	226500,0
2	04-04-12 09:47:00	230800,0
3	04-04-12 10:02:00	236600,0
4	04-04-12 10:17:00	244500,0
5	04-04-12 10:32:00	244900,0
6	04-04-12 10:47:00	242200,0
7	04-04-12 11:02:00	377800,0
8	04-04-12 11:17:00	364300,0
9	04-04-12 11:32:00	334300,0
10	04-04-12 11:47:00	293600,0
11	04-04-12 12:02:00	304600,0
12	04-04-12 12:17:00	282700,0
13	04-04-12 12:32:00	306600,0
14	04-04-12 12:47:00	259300,0
15	04-04-12 13:02:00	251000,0

Figura 7 - Alguns valores registados

Depois de ter os valores registados pode-se então efectuar uma análise gráfica que permitirá compreender o comportamento do que se está a analisar ao longo do tempo em que decorreu a análise

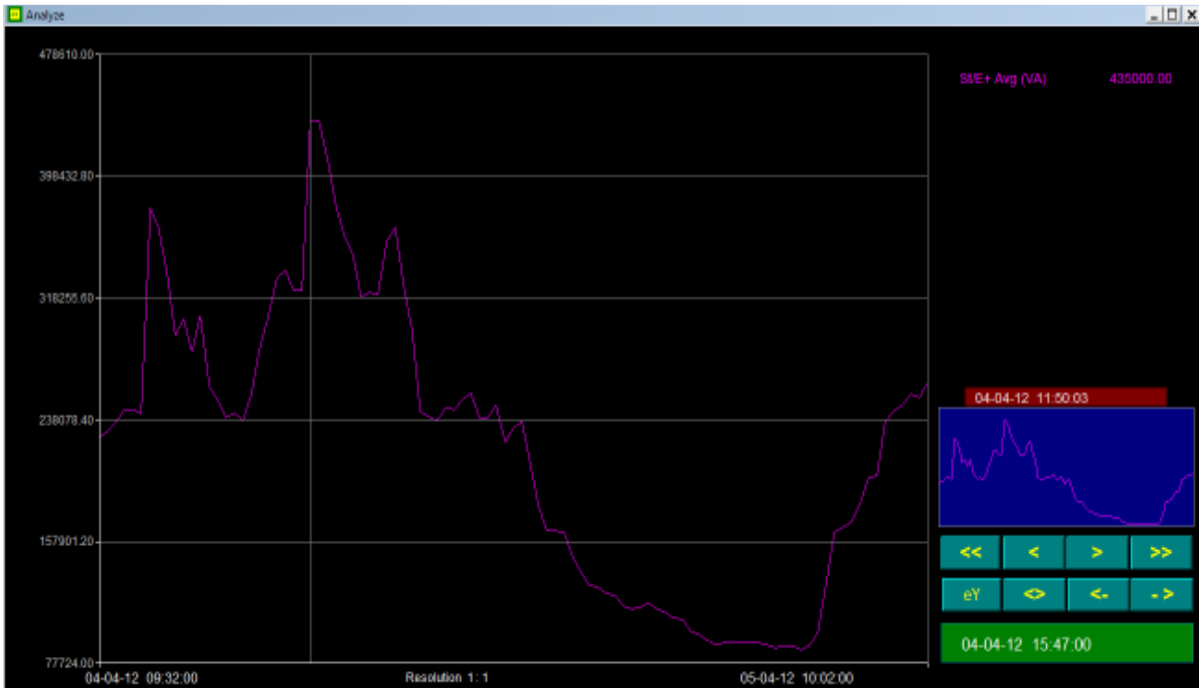
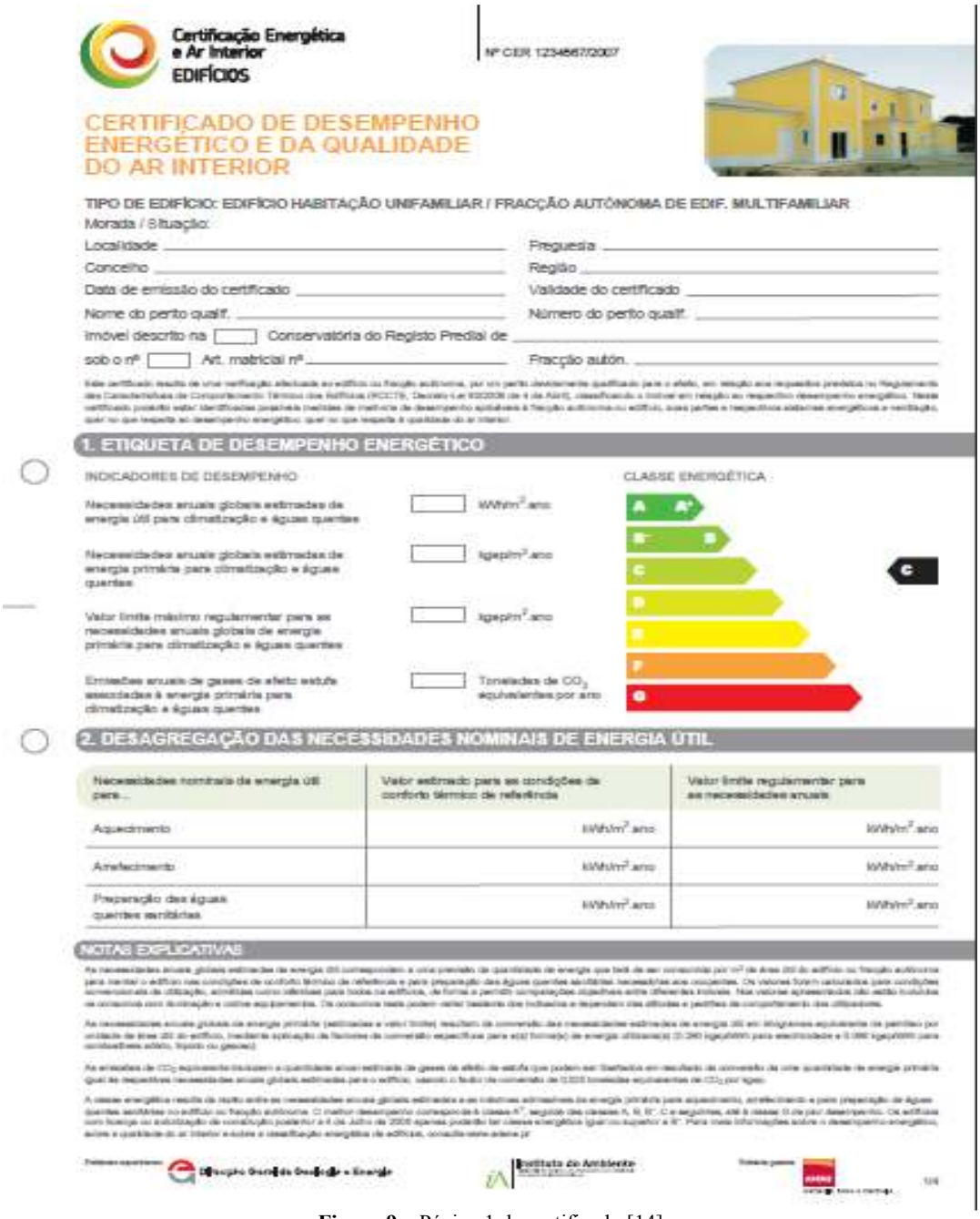


Figura 8 - Representação gráfica, ao longo do tempo, do parâmetro seleccionado

Certificado energético



Certificação Energética e Ar Interior EDIFÍCIOS

Nº CER 1234567/2007

CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

TIPO DE EDIFÍCIO: EDIFÍCIO HABITAÇÃO UNIFAMILIAR / FRACÇÃO AUTÓNOMA DE EDIF. MULTIFAMILIAR

Morada / Situação:

Localidade _____ Freguesia _____

Concelho _____ Região _____

Data de emissão do certificado _____ Validade do certificado _____

Nome do perito qualif. _____ Número do perito qualif. _____

Imóvel descrito na [ ] Conservatória do Registo Predial de _____

sob o nº [ ] Art. matricial nº _____ Fracção autón. _____

1. ETIQUETA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

INDICADORES DE DESEMPENHO

Necessidades anuais globais estimadas de energia útil para climatização e águas quentes [ ] kWh/m².ano

Necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e águas quentes [ ] kgep/m².ano

Valor limite máximo regulamentar para as necessidades anuais globais de energia primária para climatização e águas quentes [ ] kgep/m².ano

Emissões anuais de gases de efeito estufa associadas à energia primária para climatização e águas quentes [ ] Toneladas de CO_2 equivalentes por ano

CLASSE ENERGÉTICA

A A* B B* C D E F G

C

2. DESAGREGAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL

Necessidades nominais de energia útil para...	Valor estimado para as condições de conforto térmico de referência	Valor limite regulamentar para as necessidades anuais
Aquecimento	kWh/m².ano	kWh/m².ano
Arrefecimento	kWh/m².ano	kWh/m².ano
Preparação das águas quentes sanitárias	kWh/m².ano	kWh/m².ano

NOTAS EXPLICATIVAS

Figura 9 – Página 1 do certificado [14]

O certificado possui 10 pontos, dos quais consta a informação legal necessária à emissão do mesmo:

1. Etiqueta de desempenho energético;
2. Desagregação das necessidades nominais de energia útil;
3. Descrição do edifício.

CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR | Nº CER 1234567/2007

Nº do perito qualificado | Data de emissão | Data de validade

3. DESCRIÇÃO SUCINTA DO EDIFÍCIO OU FRACÇÃO AUTÓNOMA

Área útil de pavimento ____ m² | Pé-direito médio ponderado ____ m | Ano de construção ____

4. PROPOSTAS DE MEDIDAS DE MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória) (destacadas a negrito aquelas usadas no cálculo da nova classe energética)	Redução anual da Factura energética	Custo estimado De investimento	Período de retorno Do investimento
1			
2			
3			
4			
5			

As medidas de melhoria acima referidas correspondem a sugestões do perito qualificado na sequência da análise que este realizou ao desempenho energético e da qualidade do ar interior do edifício ou fracção autónoma e não pretendem por em causa as soluções e soluções adoptadas pelo(s) engenheiro(s), projectista(s) ou técnico(s) de obra

Legendas	Redução anual da Factura energética	Custo estimado De investimento	Período de retorno Do investimento
	€ € € € mais de 1000€/ano	€ € € € mais de 5000€	€ € € € inferior a 5 anos
	€ € € entre 500 e 999€/ano	€ € € entre 1000 e 4999€	€ € € entre 5 e 10 anos
	€ € entre 100 e 499€/ano	€ € entre 200 e 999€	€ € entre 10 e 15 anos
	€ menos de 100€/ano	€ menos de 200€	€ mais de 15 anos

SE FOREM CONCRETIZADAS TODAS AS MEDIDAS DESTACADAS NA LISTA, A CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA PODERÁ SUBIR PARA... A

Pressupostos e observações a considerar na interpretação da informação apresentada:

Direcção Geral de Geologia e Energia | Instituto do Ambiente | 2/4

Figura 10 - Página 2 do certificado energético [14]

4/5/6/7/8/9/10 – Propostas de melhoria e soluções adoptadas para as diversas topologias de equipamentos (ex: Paredes; climatização; ventilação, etc…).

CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR | Nº CER 1234567/2007

Nº do perito qualificado | Data de emissão | Data de validade

5. PAREDES, COBERTURAS E PAVIMENTOS

PAREDES

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)*	Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em W/m².°C: da solução	máximo regulamentar
•		

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

COBERTURAS

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)*	Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em W/m².°C: da solução	máximo regulamentar
•		

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

PAVIMENTOS

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)*	Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em W/m².°C: da solução	máximo regulamentar
•		

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

6. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)*	Factor solar na estação de arrefecimento (Verão): da solução	máximo regulamentar
•		

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

7. CLIMATIZAÇÃO

SISTEMA(S) DE AQUECIMENTO

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)	Necessidades anuais de energia útil
•	kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

*Nota: Apenas vãos envidraçados com área superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que servem, não orientados a Norte e considerando o(s) respectivo(s) dispositivo de protecção 100% activos (portadas, persianas, estores, cortinas, etc.)

Sistema aprovado: Agência Nacional de Qualidade e Energia | Instituto do Ambiente | Sistema gerido: ADENE

3/4

Figura 11 - Página 3 do certificado energético [14]

CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR | Nº CER 1234567/2007

Nº do perito qualificado | Data de emissão | Data de validade

SISTEMA(S) DE ARREFECIMENTO

Necessidades anuais de energia útil

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

8. PREPARAÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS (AQS)

SISTEMAS CONVENCIONAIS (USAM ENERGIA NÃO RENOVÁVEL)

Necessidades anuais de energia útil

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

9. SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

SISTEMA DE COLECTORES SOLARES PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA

Necessidades anuais de energia útil

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

OUTROS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS

Energia fornecida pelo sistema

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

10. VENTILAÇÃO

Descrição dos principais elementos envolvidos e da forma como se processa a ventilação

-

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

OBSERVAÇÕES E NOTAS AO PRESENTE CERTIFICADO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

-

-

Instituto do Ambiente

4/4

Figura 12 - Página 4 do certificado energético [14]