

# Impacto da Microprodução na Forma de Onda de Tensão na Rede de Distribuição de Energia

Ivo Alves e Almeida

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em  
Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica

10 de Dezembro de 2014



Relatório da Unidade Curricular de Dissertação/Projeto/Estágio do 2º ano do Mestrado em  
Energias Sustentáveis

Candidato: Ivo Alves e Almeida, N° 1060387, 1060387@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Prof. Doutor José António Beleza Carvalho, jbc@isep.ipp.pt

Empresa: EDP, Distribuição

Supervisão: Eng.º Domingos Carvalho, Domingos.PereiraCarvalho@edp.pt

Mestrado em Engenharia Energias Sustentáveis

Departamento de Engenharia Mecânica



10 de Dezembro de 2014



## *Agradecimentos*

*Quero agradecer à minha amiga Maria Pereira por toda a informação prestada relativamente ao Mestrado de Energias Sustentáveis, à Engenheira Nídia Sá Caetano por toda a ajuda prestada ao longo destes dois anos para que eu pudesse ser aceite numa grande empresa internacional, ao Engenheiro Beleza Carvalho pelas suas preciosas observações e que foram absolutamente essenciais para o meu desempenho, ao Engenheiro Domingos de Carvalho por me aceitar na EDP, ao Eng. Augusto de Carvalho, ao Eng. Vitor Meira, ao Eng. Pires Antunes, por todo o conhecimento transmitido durante a minha curta estadia na EDP, ao Sr. José Carvalho que partilhou comigo ensinamentos extremamente úteis apenas ao alcance de quem tem mais de 30 anos de carreira a operar no terreno, ao Sr. Floriano pela enorme ajuda prestada no meu período de adaptação, ao Sr. Paulo pelo contributo prestado por um melhor ambiente de trabalho dentro da EDP, e naturalmente ao Eng. Paulo Torrão pelo “pressing” feito para que o meu Fluke estivesse sempre disponível. Á Eng. Betina Baere, ao Eng. Avelino, ao Eng. Nuno Gomes, ao Eng. Carlos Santos, ao Eng. Beleza, á Eng. Nídia e ao Eng. José Sousa pela impressionante capacidade para ensinar e por serem a razão do grande sucesso da nossa instituição. O meu ciclo no ISEP terminará em breve depois de quase oito anos de “casa”, mas o caminho continua. Sem deixar de agradecer á minha mãe por todos os esforços realizados para que eu pudesse continuar a estudar apesar das dificuldades, que surgiram e a Deus por permitir que tudo operasse desta forma.*



## *Resumo*

Actualmente tem sido dada uma importância à energia de origem renovável. No entanto, o conceito de fonte de energia renovável não significa necessariamente que essas fontes sejam renováveis, para o que seria necessário considerar os impactos que a sua produção e utilização tem ao nível dos três pilares fundamentais da sustentabilidade: o social, o ambiental e o económico. Num mundo cada vez mais insustentável, a busca por melhorias ao nível da eficiência energética constitui uma prioridade. A dissertação que aqui se apresenta visa essencialmente analisar o problema que representa a produção distribuída de energia para a amplitude e forma de onda de tensão na rede de distribuição. Sendo do conhecimento dos especialistas que as cavas de tensão constituem um problema significativo, a questão das harmónicas ainda é uma área em desenvolvimento. No caso de estudo que é apresentado no âmbito desta dissertação, pretendeu-se analisar esta problemática ao nível da amplitude e forma da onda de tensão na rede de distribuição. Foi possível tirar algumas conclusões relativas ao impacto que a microprodução a partir de fonte FV tem, através da utilização do equipamento de medição adequado. Conclui-se que existe, efetivamente, uma distorção da forma de onda, distorção essa que constitui não só uma desvantagem para os consumidores de energia, visto poder causar efeitos colaterais nos seus equipamentos, mas também um problema de eficiência energética, obrigando a que no futuro, e assumindo que estes sistemas vão proliferar em larga escala a nível global, exista uma exigência em termos de requisitos técnicos como o aumento da secção do cabo eléctrico e a respectiva ramificação da rede para a distribuição de energia que por si só, é insustentável.

### *Palavras-Chave*

Energia Sustentável, Energia Renovável, Produção Distribuída, Qualidade de Energia e Componentes Harmónicas.



## *Abstract*

Nowadays it's been given importance to renewable energy. Although renewable energy doesn't mean exactly that this kind of energy is sustainable. For that it should be considered the impacts that production and consumption have on the main points regarding sustainability: social, environmental and economic. The following dissertation is essentially focused on analyzing distributed energy production as a problem for the electrical wave shape on low tension electrical network. Each eletrotechnical expert already knows that sweels are the main problem, although, harmonic studies are still undeveloped. On this particular case of study, it is possible to get some interesting information related to the impact that microproduction throughout photovoltaic energy source, is having according to a proper measurement equipment. It's possible to conclude that there is a wave distortion, that constitutes not only a disadvantage for energy consumers because they may cause side effect on their equipments, but also a problem regarding energy efficiency. Assuming that this kind of systems will proliferate in a huge scale, it will lead a future that will have to expand electrical networks and use high section electrical cables to transport this undesired energy, which is an unsustainable option.

### ***Keywords***

Sustainable Energy, Renewable Energy, Distributed Production, Energy Quality and Harmonics.



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS E ACRÓNIMOS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO .....	2
1.2. OBJETIVOS .....	3
1.3. CALENDARIZAÇÃO .....	3
1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....	3
<b>2. PRODUÇÃO DE ENERGIA .....</b>	<b>5</b>
2.1. PRODUÇÃO EM REGIME ESPECIAL.....	7
2.2. PRODUÇÃO DE ENERGIA DE ORIGEM RENOVÁVEL .....	9
2.3. MICROGERAÇÃO .....	11
2.3.1. ENERGIA FOTOVOLTAICA .....	13
2.3.2. FONTE EÓLICA .....	14
2.3.3. MICRO HÍDRICA .....	14
2.4. GESTÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS DE ENERGIA .....	15
2.5. ESTABILIDADE DA TENSÃO.....	18
2.6. CONCLUSÕES.....	18
<b>3. QUALIDADE DE ENERGIA.....</b>	<b>19</b>
3.1. NOTA INTERNA EDP.....	21
3.2. COMPONENTES HARMÓNICAS.....	21
3.3. FLICKER.....	25
3.4. SOBRETENSÕES .....	26
3.5. CAVAS DE TENSÃO.....	28
3.6. REGULAMENTO DE QUALIDADE DE SERVIÇO .....	30
3.7. CONCLUSÕES.....	31
<b>4. REDES ELÉTRICAS .....</b>	<b>33</b>
4.1. REDE DE DISTRIBUIÇÃO .....	37

4.2.	REDES INTELIGENTES .....	41
4.3.	CONCLUSÕES .....	41
<b>5.</b>	<b>TRABALHO REALIZADO - BRAGA .....</b>	<b>43</b>
5.1.	RECOLHA DE DADOS .....	44
5.2.	RESULTADOS DA PRIMEIRA SIMULAÇÃO .....	46
5.3.	RESULTADOS DA SEGUNDA SIMULAÇÃO .....	50
5.4.	RESULTADOS DA TERCEIRA SIMULAÇÃO .....	55
5.5.	CONCLUSÕES .....	57
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>59</b>
	<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....</b>	<b>62</b>
	<b>ANEXO A.1.....</b>	<b>64</b>
	<b>ANEXO B.1.....</b>	<b>65</b>

## *Índice de Figuras*

Figura 1	Evolução da produção de origem renovável, em TWh [10].	9
Figura 2	Sistema FV fixo [19].	13
Figura 3	Sistema eólico de microprodução [22].	14
Figura 4	Sistema hídrico de microprodução [23].	15
Figura 5	Diagrama de DyLiaco.	17
Figura 6	Distorção harmónica de corrente [35].	22
Figura 7	Representação da Série de Fourier numa forma de onda distorcida [30].	23
Figura 8	Exemplo de uma sobretensão [30].	27
Figura 9	Descrição pormenorizada da cava [36].	29
Figura 10	Representação de um sistema elétrico de energia [43].	36
Figura 11	Exemplo de carta de rede [44].	40
Figura 12	Sistema FV em estudo.	43
Figura 13	Esquema de ligação [50].	44
Figura 14	Esquema de ligação [50].	45
Figura 15	Informação relativa á radiação incidente, em Março [51].	46
Figura 16	Distorção harmónica de tensão, em valor absoluto.	47
Figura 17	Distorção inter-harmónica de tensão, em valor absoluto.	47
Figura 18	Harmónicas de corrente presentes no sinal, em valor absoluto.	48
Figura 19	Inter-harmónicas de corrente presentes no sinal, em valor absoluto.	48
Figura 20	Variação da frequência em períodos médios de 10 minutos.	49
Figura 21	Sobretensões medidas em períodos médios de 10 minutos.	49
Figura 22	Tensão RMS medida em períodos médios de 10 minutos.	50
Figura 23	Informação relativa á radiação incidente, em Abril [51].	50
Figura 24	Variação da frequência em períodos médios de 10 minutos.	51
Figura 25	Sobretensões medidas em períodos médios de 10 minutos.	51
Figura 26	Tensão RMS medida em períodos médios de 10 minutos.	52
Figura 27	Harmónicas de tensão presentes no sinal, em percentagem.	52
Figura 28	Inter-Harmónicas de tensão presentes no sinal, em percentagem.	53
Figura 29	Harmónicas de corrente presentes no sinal, em valor absoluto.	53
Figura 30	Inter-harmónicas de corrente presentes no sinal, em valor absoluto.	54
Figura 31	Eventos de DHT.	54
Figura 32	Valores de tensão RMS.	55
Figura 33	Distorção Harmónica Total, em valores médios de 5 minutos.	55
Figura 34	Distorção Harmónica Total, em valores instantâneos.	56

Figura 35	Sobreensões, em valores médios de 5 minutos. ....	56
Figura 36	Valores de frequência em períodos médios de 5 minutos. ....	57

## *Índice de Tabelas*

Tabela 1	Calendarização do projecto.....	4
Tabela 2	Balanço da produção [4].....	7
Tabela 3	Descrição pormenorizada da PRE em janeiro de 2014 [9].....	9
Tabela 4	Tipos de produção renovável [13]. ....	10
Tabela 5	Quota de potência de ligação a alocar á microprodução, em Portugal (Dezembro 2013)[18].....	12
Tabela 6	Classificação de zonas por nível de qualidade [29] .....	19
Tabela 7	Evolução do nº de interrupções na RNT, por classes de duração [4]. ....	20
Tabela 8	Taxa de distorção de corrente por equipamento [35]. ....	23
Tabela 9	Detalhes da Rede de Distribuição [45]. ....	37
Tabela 10	Tipo de linhas usadas na EDP [47] [35]. ....	39



## *Lista de símbolos e acrónimos*

### **Caracteres Gregos**

$\infty$  – Infinito

$\varphi$  – Fi

### **Caracteres Romanos**

$P$  – Potência Ativa (W)

$I$  – Corrente (A)

$V$  – Tensão (V)

$Q$  – Potência Reativa (VAr)

$S$  – Potência Aparente (VA)

### **Operadores**

$\Sigma$  – Somatório

$\approx$  – Aproximado

$\succ$  – Maior

### **Abreviaturas**

AT – Alta Tensão

AO – Área Operacional

BT – Baixa Tensão

CA – Corrente Alternada

CC	– Corrente Contínua
CCT	– Compensador de Cavas de Tensão
CDR	– Combustíveis Derivados de Resíduos
DGEG	– Direção Geral de Energia e Geologia
DHT	– Distorção Harmónica Total
DNI	– <i>Daily Normal Irradiation</i>
DNIc	– <i>Daily Normal Irradiation Clean Sky</i>
DRE	– Direção Regional de Economia
DTC	– <i>Distribution Transformer Controller</i>
DVR	– <i>Dynamic Voltage Restorer</i>
EDP	– Energias de Portugal
EMS	– <i>Energy Management System</i>
ERSE	– Entidade reguladora dos Serviços Energéticos
ETAR	– Estação de Tratamento de Águas Residuais
EUA	– Estados Unidos da América
FV	– Fotovoltaico
FP	– Fator de Potência
GPRS	– <i>General Packet Radio Services</i>
IEC	– <i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	– <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ISO	– <i>International Organization for Standardization</i>

MAT	–	Muito Alta Tensão
MP	–	Microprodutor
MPQS	–	Manual de Procedimentos da Qualidade de Serviço
MRS	–	Manutenção e Reposição de Serviço
MT	–	Média Tensão
OCR	–	Orgão de Corte de Rede
PLL	–	<i>Phase-Locked Loop</i>
PRE	–	Produção em Regime Especial
PT	–	Posto de Transformação
PTD	–	Posto de Transformação de Distribuição
PVGIS	–	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
REN	–	Redes Energéticas Nacionais
RESP	–	Rede Elétrica de Serviço Público
RMS	–	<i>Root Mean Square</i>
RND	–	Rede Nacional de Distribuição
RNT	–	Rede Nacional de Transporte
RQS	–	Regulamento de Qualidade de Serviço
RSU	–	Resíduos Sólidos Urbanos
RTU	–	<i>Remote Terminal Unit</i>
SCADA	–	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SEE	–	Sistemas Elétricos de Energia

- TP – Transformador de Potência
- UAT – Ultra Alta Tensão
- UPS – *Uninterruptible Power Supply*
- USD – *United States Dollar*

# 1. Introdução

O aumento da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis em Portugal, deveu-se a decisões políticas que possibilitaram diversos incentivos financeiros a investidores privados que pretendessem investir no setor, sendo que este aumento ficou a dever-se às metas estabelecidas pela União Europeia, em Março de 2007, conhecidas por “20-20-20” nas quais deveria haver um aumento do consumo de energia de fonte renovável de 20%, uma redução da emissão dos gases de efeito de estufa em 20%, quando comparados com os níveis de 1990, e, um melhoramento em 20% da eficiência energética em toda a União Europeia, até 2020. Para que tais metas fossem atingidas Portugal apresentou incentivos, em Maio de 2007, através da simplificação de burocracias e, em Novembro do mesmo ano, com a entrada em vigor da nova tarifa de 650 €/MWh para os sistemas FV, que viria a exercer uma elevada influência junto dos pequenos investidores. Como era expectável, tais medidas foram um sucesso uma vez que foram instaladas, entre 2007 e 2009, 5400 unidades de microprodução correspondentes a 19 MW de potência instalada em fotovoltaicas [1].

Perante este súbito aumento da produção de energia através de sistemas descentralizados, começaram a surgir algumas perturbações na rede elétrica, que estão na origem de determinadas sobretensões nas linhas que levam a que os disjuntores dos microprodutores disparem, dando origem a interrupções na produção, bem como os inevitáveis conflitos de

operação uma vez que toda a rede foi projetada para operar em sentido único, da fonte para a carga, e não da carga para a fonte. Em suma, problemas que afetam diretamente a forma de onda de tensão na rede de distribuição que, não sendo controladas, podem propagar-se pela rede. Naturalmente que os problemas acima referidos possuem restrições estabelecidas pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, a ERSE, através da norma NP EN 50160 na qual estão definidos todos os limites máximos e mínimos dos parâmetros respeitantes à qualidade de energia. Este controlo permite manter um nível de qualidade suficiente para que a grande maioria das cargas não sejam afetadas. No entanto, é essencial reconhecer que existem consumidores de energia, maioritariamente entidades privadas, com cargas demasiado exigentes que têm obrigatoriamente de ser alimentadas por uma onda sinusoidal quase perfeita que, para ser alcançado, exige ser alimentado a um nível de tensão superior. Esta opção, apesar de apresentar efetivamente os resultados desejados pelos consumidores, acaba por não ser tomada uma vez que o investimento exigido ao consumidor, devido à instalação de um posto de transformação privado, representa um encargo demasiado elevado que o próprio muitas vezes não consegue suportar. Resta ao consumidor solicitar ao operador que identifique e solucione a fonte do problema, por forma a evitar que os seus equipamentos sejam danificados.

## **1.1. Enquadramento**

Enquanto entidade responsável pela distribuição de eletricidade em Portugal Continental as Energias de Portugal, EDP, Distribuição, que estabelece a ligação entre os consumidores e a Rede Energética Nacional, REN, através da qual circula a energia da EDP Produção, Endesa, Iberdrola, entre outros, assume perante qualquer cliente o compromisso de garantir o abastecimento ininterrupto de energia e com elevado índice de qualidade. Para tal, a EDP Distribuição empenha-se diariamente para que haja uma melhoria do seu sistema visando o cumprimento do que está estipulado pela norma NP EN 50160. Sendo já do conhecimento dos responsáveis da empresa que a injeção de microprodução tem um impacto negativo na rede de distribuição e, que o número deste tipo de instalações ligadas à rede tem vindo a crescer rapidamente, sendo a região de Braga uma referência a nível Nacional contando com quase 9 MW de potência instalada distribuídos por 2500 unidades de produção das quais 2493 são sistemas Fotovoltaicos (FV) é fundamental conhecer em detalhe, quais os impactos sobre a forma de onda e que medidas podem ser implementadas para mitigar tais

impactos. No caso da zona abrangida pela Manutenção e Reposição de Serviço (MRS) de Braga, onde o estágio foi realizado, existe apenas um sistema de microprodução que não é FV. Neste sentido, sabendo que pelo Decreto-Lei o produtor é obrigado a entregar a totalidade da energia produzida à rede Baixa Tensão (BT), é do total interesse para a EDP que este trabalho seja realizado.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo principal deste trabalho de dissertação passa por analisar todas as soluções existentes para a resolução do problema apresentado, de forma a concluir qual poderá ser a melhor solução a adotar. Dada a complexidade inerente a este objetivo, houve a necessidade de subdividi-lo em múltiplas tarefas, tais como:

- Estudar possíveis origens do problema, através de uma preparação teórica;
- Estudar o modo de funcionamento do equipamento Fluke 1760;
- Instalar o Fluke 1760 num micro - produtor;
- Recolher dados relevantes;
- Analisar a informação;
- Apresentar conclusões relativas ao trabalho realizado.

## **1.3. Calendarização**

A prossecução dos objetivos anteriores conduziu à calendarização apresentada na Tabela 1. Esta inclui um conjunto de tarefas, entre as quais:

- Estudo da documentação;
- Recolha de informação;
- Aprender a operar o Fluke;
- Recolha de dados;
- Relatório final.

## **1.4. Organização do relatório**

O capítulo 1, corresponde a esta introdução, sendo apresentado o modo como o trabalho está estruturado e qual o seu fundamento. O capítulo 2 é inteiramente dedicado á produção de energia. O 3º capítulo serve para apresentar os principais tópicos correspondentes á qualidade da energia que estão na base de todo o trabalho realizado. No 4º capítulo, é

analisada a situação de toda a rede elétrica, dando especial ênfase á rede de distribuição, referindo o ponto em que se encontra e qual a tendência futura. No capítulo 5, apresenta-se o caso de estudo assim como os resultados obtidos. Por fim, no capítulo 6, são reunidas as principais conclusões referentes ao trabalho que foi desenvolvido, deixando-se indicações de como este trabalho ainda poderá ser continuado. Em anexo, apresenta-se o manual do analisador de qualidade da energia que foi elaborado também no âmbito desta dissertação.

**Tabela 1 Calendarização do projecto**

ID	Nome das etapas	Inicio	Fim	Duração	Nov-13			Dec-13			Jan-14			Feb-14			Mar-14			Apr-14			May-14			Jun-14		
					5	12	19	26	5	12	19	26	5	12	19	26	5	12	19	26	5	12	19	26	5	12	19	26
1	Estudo da Documentação				■																							
2	Recolha de Informação	19-12	12-2		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	Férias	19-12	17-2																									
4	Aprender a operar o Fluke	19-3	20-3																									
5	Recolha de dados	26-3	26-6																									
6	Relatório Final																											

## 2. Produção de Energia

O sistema de produção é responsável pela conversão de energia primária em energia elétrica, que é injetada na rede de transmissão com o intuito de satisfazer o consumo. Essa energia elétrica final tem a particularidade de ser consumida numa pequena fração de tempo após ser injetada na rede de transmissão. Atualmente, é possível realizar o armazenamento de eletricidade, no entanto, essa operação ainda apresenta limitações sendo absolutamente impossível ser realizado de uma forma viável. O custo da produção pode oscilar bastante dependendo dos grupos produtores em serviço, isto em grande parte, devido à diferença do preço de “combustível” e da sua eficiência. Assim, o despacho económico da produção surge com o objetivo de minimizar os custos tentando otimizar a relação entre a procura e a produção. Para tal, existem ferramentas informáticas que correm nos centros de controlo, normalmente a cada 5 ou 10 minutos, por forma a determinar o despacho para diferentes horizontes temporais, enviando todos os comandos necessários às respetivas unidades. Este sistema é denominado como “Despacho Económico da Produção”. Por vezes, o despacho não pode ser realizado tendo em conta o menor custo possível devido a condições de segurança que têm de ser respeitadas, que abrangem as capacidades de reserva das linhas e a reserva girante. Restrições físicas, que incluem limites térmicos das linhas de transmissão, restrições de estabilidade e, limitações na potência de saída do gerador, têm igualmente que ser considerados [2]. No entanto, a condição fundamental é satisfazer o consumo com as unidades de produção que operem ao

menor custo possível. Neste âmbito será sempre privilegiado a satisfação do consumo pelos meios de produção renováveis, uma vez que a fonte de energia é gratuita.

Para além de definir qual a quantidade de energia que cada unidade deve produzir quando está em serviço, os operadores de sistema têm de estabelecer do mesmo modo quando a unidade se liga ou desliga, pois, dado os custos significativos associados ao arranque e desligamento das unidades, não é benéfico mantê-las todas ativas ao mesmo tempo. Esta condição é bastante significativa no caso das centrais térmicas que podem levar cerca de uma semana até atingirem a temperatura necessária para entrarem em funcionamento. Esta função é conhecida por escalonamento de produção [2].

Posto isto, torna-se lógico que a produção em regime especial, que abrange a produção a partir de fontes renováveis, introduza toda a energia produzida na rede uma vez que estes sistemas têm um custo de produção reduzido. Exceção feita às grandes hídricas que estão incluídas no regime ordinário, a par das centrais térmicas, e que funcionam como reserva.

O planeamento centralizado da produção de eletricidade foi substituído pela iniciativa privada no âmbito da Produção em Regime Especial, PRE, continuando apenas o operador de sistema a supervisionar o abastecimento de eletricidade a fim de resolver problemas de escassez energética. Assim, a produção tornou-se totalmente aberta á concorrência e como tal, a otimização da produção, deixou de depender unicamente dos custos variáveis de produção (matérias primas) de cada centro electroprodutor, passando a operar numa lógica de mercado. Em seguida é apresentada a tabela 3, que mostra a evolução da produção de energia nos últimos dois anos.

Tabela 2 Balanço da produção [4].

<b>CONSUMO REFERIDO À PRODUÇÃO LÍQUIDA</b>	<b>2013</b>	<b>2012</b>
	<b>GWh</b>	<b>GWh</b>
<b>PRODUÇÃO TOTAL</b>	<b>47 837</b>	<b>42 553</b>
<b>PRODUÇÃO RENOVÁVEL</b>	<b>28 373</b>	<b>18 325</b>
Hídrica	13 483	5 332
<i>Mini-hídrica</i>	1 337	622
Eólica	11 751	10 011
Térmica	2 692	2 624
<i>Cogeração</i>	1 532	1 480
Solar	446	357
<b>PRODUÇÃO NÃO RENOVÁVEL</b>	<b>18 307</b>	<b>23 115</b>
Carvão	10 953	12 136
Gás Natural	6 909	10 208
<i>Cogeração</i>	5 407	4 568
Outros	446	770
<i>Cogeração</i>	211	573
<b>PRODUÇÃO POR BOMBAGEM</b>	<b>1 157</b>	<b>1 114</b>
<b>SALDO IMPORTADOR</b>	<b>2 776</b>	<b>7 895</b>
Importação (valor comercial)	5 229	8 297
Exportação (valor comercial)	2 447	403
<b>Bombagem Hidroeléctrica</b>	<b>1 458</b>	<b>1 388</b>
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>49 155</b>	<b>49 060</b>

## 2.1. Produção em Regime Especial

A PRE foi uma opção interessante encontrada por Portugal para solucionar uma parte do seu problema energético. A publicação do Decreto – Lei n.º 189/88, de 27 de Maio deu um forte impulso à produção independente, promovendo a instalação de centrais de cogeração nas empresas, construção de centrais mini-hídricas e microprodução [5]. Deste modo, o Governo conseguiu impulsionar a criação de novas empresas, gerar emprego, evitar dívida energética externa, e evitar comprometer o país com novos investimentos. Em contrapartida, a PRE trouxe alguns problemas, nomeadamente nas questões de transporte de energia uma vez que, na rede de distribuição passaram a circular correntes bidireccionais, visto que a eletricidade deixou de circular unicamente do produtor para a carga para passar também a circular da carga para o produtor. Ao abrigo da legislação, está definido que as PRE abrangem [6]: bgs-9x-cqb

- Sistemas de cogeração, conhecidos por terem a capacidade de produzir eletricidade e calor em simultâneo. A cogeração rentabiliza as perdas térmicas resultantes da

combustão, ao utilizar essa energia em habitações ou indústrias. Um sistema de cogeração pode atingir um rendimento próximo dos 90% que representa mais do dobro do rendimento de uma central térmica convencional [7];

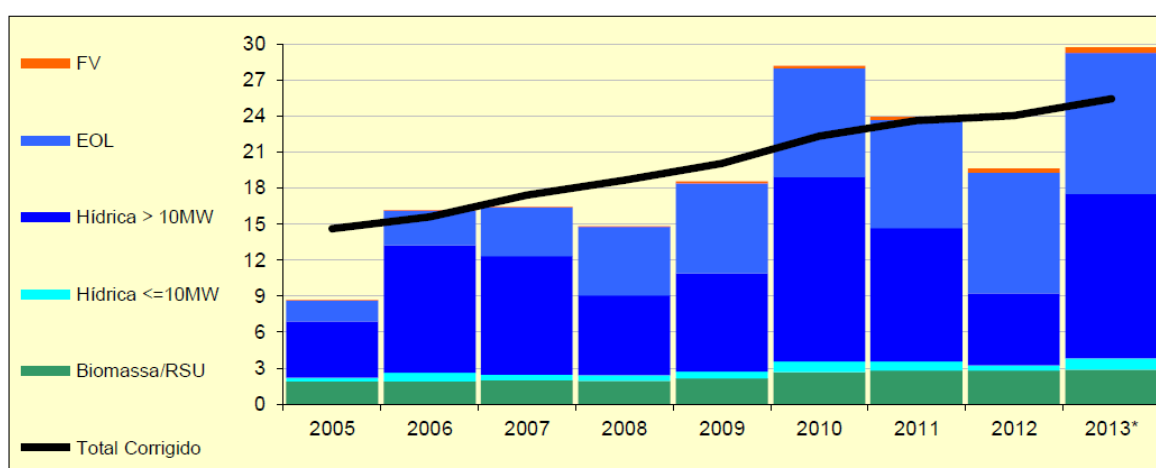
- Sistemas de trigeriação semelhantes á cogeração, contudo, têm a vantagem de também produzir água fria através dos *chillers* de absorção. É um sistema ideal para instalar em hospitais;
- Centrais de produção a partir da inceneração de resíduos sólidos urbanos, industriais ou agrícolas. As maiores centrais do género estão localizadas no Porto e em Lisboa onde a Lipor é a principal responsável por este tipo de produção. Existem também alguns projetos para a produção de energia a partir do biogás produzido pelos animais;
- Centrais hídricas com potência instalada até 10 MVA e em alguns casos até 30 MVA, frequentemente designadas por mini-hídricas. As mini-hídricas têm características próprias distinguindo-se pela sua construção simples, que permite aproveitar baixas quedas tendo um reduzido impacto ambiental, podendo o seu funcionamento ser totalmente automatizado [8]. Em 2013, foram responsáveis pela produção de 1327.7 GWh;
- Toda a produção de energia elétrica, em baixa tensão, com potência instalada limitada a 150 kW;
- Outras fontes de energia renovável onde se incluem as geotérmicas, biomassa, biogás, entre outros;
- A microprodução.

**Tabela 3** Descrição pormenorizada da PRE em janeiro de 2014 [9].

	Custo Médio Anual [€/MWh]	Energia Anual [GWh]	Percentagem [%]
Cogeração Renovável	99	1861	8,5
Outra Cogeração	124,3	5285,3	24,2
Biogás	112,3	239,4	1,09
Fotovoltaica	334,2	257,4	1,18
Hídrica PRE	95,2	1327,7	6,07
Biomassa	116,9	683,9	3,13
RSU	86,4	470,5	2,15
Eólica	93,8	11748,7	53,71
<b>Total:</b>		21873,9	100

## 2.2. Produção de energia de origem renovável

Portugal é um país altamente produtor de energia renovável, onde as grandes hídricas e as eólicas representaram, em média, durante os últimos 8 anos, mais de 30% de toda a produção elétrica. No total, a produção a partir de fontes renováveis atingiu, ao longo dos últimos anos, valores históricos. Em 2013, verificou-se um aumento na produção de 51% face a 2012, com uma contribuição significativa da componente hídrica. Este ano, a produção de energia renovável atingiu um impressionante pico diário, responsável por 91% de toda a energia produzida.



**Figura 1** Evolução da produção de origem renovável, em TWh [10].

Fundamentando-se na presença de condições de excelência para a produção de energia renovável, o Governo português fez um pedido a Bruxelas para que sejam implementadas medidas que levem a um melhoramento das interligações entre todos os estados-membros da União Europeia até 2030 que possibilitassem a venda de energia renovável por parte da Península Ibérica à Europa, podendo esta adquirir energia a um custo suportável para o consumidor ao mesmo tempo que é um auxílio para cumprir as metas a que se propôs [11]. Independentemente do resultado de tal requerimento, Portugal continua a investir seriamente no setor tendo já a EDP Produção planeado a entrada ao serviço, até 2016, de novas centrais de produção hídrica que totalizam quase 2 GW de potência instalada e que vem substituir sistemas de produção mais antigos como a central de Vila Nova. Por ser demasiado antiga, esta central tem um rendimento muito baixo sendo capaz de produzir apenas um terço do que uma central mais moderna com as mesmas características produz. Ao nível de parques eólicos está previsto a entrada em funcionamento de 3 novos parques em Arganil, Negrelo e Serra do Barroso, que perfazem 66 MW [12].

A tabela 4 apresenta os vários tipos de produção renovável existentes e que podem ser divididos em dois grupos, os do tipo *onshore* e os *offshore*.

**Tabela 4 Tipos de produção renovável [13].**

Onshore	Geotérmica	Indiferente		
	Eólica	Indiferente		
	Solar	Fotovoltaico - Seguidores solares (1eixo,2eixos)		
		Fotovoltaico - Estruturas Fixas		
		Fotovoltaico de concentração - Seguidores Solares		
		Fotovoltaico de concentração - Estruturas Fixas		
		Fotovoltaico de concentração - Cilindro Parabólico		
		Fotovoltaico de concentração - Torre		
		Fotovoltaico de concentração - Fresner Linear		
		Termoelétrico - <i>Stirling</i>		
	Hídrica	Pequenas centrais hidroelétricas		
	Biomassa	Biomassa florestal		Combustão/Gaseificação
		Resíduos de Biomassa		
		RSU		
CDR			Digestão Anaeróbica/Outra	
Gás de Aterro				
Gás de ETAR				
Biogás				
Offshore	Eólicas	Plataforma Flutuante		
		Fixo ao solo ou subsolo		
		Outras		
	Ondas	<i>Wave Roller</i>		
		Pelamis		
		Coluna de Água		
		Outras		

A energia de fonte geotérmica aproveita as elevadas temperaturas das águas subterrâneas ou vapor, que em locais como os Açores ultrapassam facilmente os 100°C (alta entalpia), para produzir eletricidade, contudo, em Portugal Continental o cenário altera-se substancialmente uma vez que as temperaturas mais elevadas rondam os 80°C na zona de Chaves sendo insuficientes para a produção de energia [14]. A construção de uma central geotérmica tem elevados custos e, é especialmente rentável em países onde as temperaturas da água são elevadíssimas como o caso dos Estados Unidos da América (EUA), Filipinas e Indonésia.

A produção a partir da biomassa tem surgido como solução para rentabilizar resíduos que, em condições normais, não tem qualquer utilidade. Entre os maiores responsáveis pela produção encontram-se os sistemas de Resíduos Sólidos Urbanos, RSU, que transformam os resíduos em eletricidade, através de processos de combustão e de digestão anaeróbica, abrangendo 174 municípios que produzem, anualmente, 3,7 milhões de toneladas de resíduos correspondendo a uma produção de 242 GWh de energia a partir do biogás e, 470 GWh a partir dos RSU [15].

Foram pioneiros alguns projetos instalados em Portugal com vista ao aproveitamento de energia das ondas, como o caso da coluna de água oscilante e o Pelamis [16]. Por serem pouco desenvolvidos, estes sistemas apresentaram diversas falhas, que ainda assim não fizeram o Governo desistir de investir nestas tecnologias. Assim, em 2013, o Estado garantiu uma concessão à REN de 45 anos através da qual na região próxima de S. Pedro de Moel serão instalados, numa primeira fase, 12 MW que irão aumentar gradualmente até atingirem 250 MW na terceira fase. Atualmente o sistema *waveroller* é o único a injetar na rede energia a partir desta fonte.

Ao nível dos sistemas centralizados FV, Portugal faz-se representar pelo sistema da Amareleja com 46 MW de potência instalada, capaz de produzir 93.000 MWh/Ano o suficiente para abastecer 30.000 lares [17]. Quanto à minigeração esse valor diminui para 45 MW.

### **2.3. Microgeração**

A microgeração ou microprodução, como também é conhecida, consiste na produção descentralizada de eletricidade, a partir de fonte primária que pode ou não ser renovável, cuja potência de ligação máxima autorizada para cada microprodutor depende de diversos

fatores. De uma forma sucinta, a potência instalada da microprodução não pode exceder 50% da potência contratada pelo cliente ao fornecedor de energia, estando esta limitada a 3,68 kW para os particulares que pretendam usufruir do regime bonificado e 5,75 kW para o regime geral. No caso dos condomínios de 6 ou mais frações, com instalações trifásicas esse valor sobe para os 11,04 kW. À microgeração devem estar também associados coletores solares térmicos com um mínimo de 2 m<sup>2</sup> de área útil do coletor ou uma caldeira a biomassa com produção anual de energia térmica equivalente. Toda a instalação deve satisfazer os requisitos das normas *International Electrotechnical Commission*, IEC, e da *International Organization for Standardization*, ISO e, só ser autorizada a ligação à Rede Elétrica de Serviço Público, RESP, após a emissão do certificado de exploração. O produtor deve entregar á rede BT a totalidade da energia produzida a partir da fonte de energia registada, prestando à Direção-Geral de Energia e Geologia, DGEG, ou à Direção Regional de Economia, DRE, e ao operador da rede de distribuição, todas as informações que lhe sejam solicitadas. Outra das obrigações do produtor passa por facilitar o acesso de qualquer técnico pertencente a qualquer uma destas entidades. A quota anual disponível para a ligação de novos microprodutores à rede BT, em Portugal é de 11,45 MW, que se distribui por parcelas semelhantes ao longo do ano o que significa que caso a quota mensal seja excedida, o microprodutor tem de aguardar pelo mês seguinte para se ligar à rede.

**Tabela 5 Quota de potência de ligação a alocar á microprodução, em Portugal (Dezembro 2013)[18].**

SESSÕES (meses)	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	Total [MW]
Potência [MW]	1,85	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	11,45

A energia anual vendida pelo pequeno produtor, a partir de fonte solar ou eólica, está limitada a 2,4 MWh por cada kW de potência instalada e limitada, no caso da produção a partir de fonte hídrica, cogeração a biomassa, cogeração de fonte não renovável e, pilhas de combustível com base em hidrogénio proveniente de fonte renovável, a 4 MWh por cada kW de potência instalada [1]. De todos os sistemas de microprodução, o mais comum é o sistema FV.



**Figura 2 Sistema FV fixo [19].**

### **2.3.1 Energia Fotovoltaica**

Portugal apresenta índices de radiação excelentes, típicos de um país Mediterrânico. A sua localização geográfica permite alcançar valores de radiação a norte, na ordem dos 1,42 kWh/Wp, e a sul 1,66 kWh/Wp. Embora o sistema FV tenha um baixo impacto visual, poder ser montado rapidamente, e facilmente iniciar a sua produção no momento em que tendencialmente, existe maior consumo energético, a verdade é que nos últimos 2 anos a procura por estes sistemas tem diminuído, uma vez que o valor pago por cada MWh tem vindo a decrescer por imposição da troika. O modo de funcionamento de um sistema FV consiste na associação de diversas células fotovoltaicas num único painel a que vulgarmente se designa painel fotovoltaico. Para que a célula fotovoltaica tenha a capacidade de converter a radiação solar em energia elétrica, é necessário que esta possua duas camadas: a tipo “**p**”, onde se encontram as cargas positivas (protões) e, a tipo “**n**”, onde se encontram as cargas negativas (eletrões). Quando um fotão incide numa célula, eletrões e lacunas são criadas pelo efeito fotoelétrico, sendo que as cargas são separadas pela junção p-n. Quando as camadas p e a camada n se encontram ligadas através de um circuito externo a uma carga, os eletrões irão circular para fora do eletrodo localizado na camada n, para dentro da camada p onde se irão recombinar com as lacunas. [20]. Toda a Corrente Contínua, CC, produzida pelo painel será enviada para o inversor que formará uma onda sinusoidal, à frequência de 50 Hz e que injetará na rede de distribuição. Os sistemas FV de microprodução representam já cerca de 90 MW de potência instalada [21].

### 2.3.2 Fonte Eólica

Outro sistema bastante escolhido pelos microprodutores ainda que em menor número são os sistemas eólicos que contam com 134 instalações, em Portugal, com uma potência total instalada de 455,05 kW.



**Figura 3 Sistema eólico de microprodução [22].**

Este sistema tem como principais características o facto de ser bastante imprevisível quanto à sua produção visto que devido à imprevisibilidade do vento poder num momento estar a produzir à potência máxima e nos instantes seguintes reduzir subitamente a sua produção. Em casos extremos pode haver a necessidade suspender totalmente a produção quando os ventos são demasiado fortes. Por estas razões, idealmente, todos os investidores devem exigir a uma consultadoria que verifique a qualidade do vento na zona onde pretendem instalar o sistema eólico por forma a prever o mais possível a produção resultante. Outros inconvenientes deste sistema são o ruído e o impacto visual. Como pontos fortes, este sistema apresenta uma eficiência muito superior ao FV que se for instalado num local com ventos propícios pode ser economicamente vantajoso.

### 2.3.3 Micro Hídrica

De entre todas, a produção microhídrica é a menos desejada para investimento por parte dos produtores existindo em todo o país apenas 13 unidades de produção totalizando cerca de 53 kW de potência instalada.



**Figura 4 Sistema hídrico de microprodução [23].**

Este baixo número de instalações deve-se à dificuldade em encontrar locais onde possam ser adaptados, dado o custo e o respetivo impacto ambiental que a infraestrutura que envolve o gerador provoca, ficando muitas vezes localizado dentro de um pequeno edifício que o protege. A elevada eficiência deste sistema, que resulta na capacidade de produzir quantidades superiores de energia, representa a sua maior virtude.

## **2.4. Gestão dos Sistemas Elétricos de Energia**

Toda a gestão dos Sistemas Elétricos de Energia, SEE, em Portugal Continental é assegurada pelos dois centros de controlo atualmente existentes. O de Vermoim, a norte do país, e Sacavém, localizado a sul. Estes centros asseguram que toda a rede nacional abastece o país de uma forma segura e, praticamente, sem interrupções salvo em situações excecionais de emergência. Para isso, os gestores de sistema têm ao seu dispor o sistema *Supervisory Control and Data Acquisition*, SCADA, o *Energy Management System*, EMS, e ferramentas para a previsão da produção de energia eólica que lhes permite acompanhar o estado de toda a rede elétrica em tempo real certificando-se que a rede respeita todas as variáveis de controlo e índices de segurança.

O sistema SCADA, engloba um conjunto de *software* e *hardware* que permite supervisionar sistemas remotos, mediante a recolha de informações que serão usadas como base para a tomada de decisões nos centros de controlo. Essas informações são enviadas ou recebidas nos centros de controlo, por intermédio de sistemas de satélite, fibra ótica, comunicações rádio ou telemóveis a partir de unidades que se encontram a grandes distâncias [24].

O sistema é normalmente constituído por quatro níveis:

- ❖ Nível de Instrumentação onde a variável física se converte numa variável digital;
- ❖ Nível RTU, *Remote Terminal Unit* que recolhe, armazena e processa os dados provenientes do nível de instrumentação;
- ❖ Nível de Comunicações fica encarregue de transmitir a informação do RTU até ao Centro de Controlo;
- ❖ Centro de Controlo é composto por um conjunto de computadores e *software* que processa os sinais.

Adquirir um SCADA pode ser um processo complexo e moroso uma vez que envolve a realização de testes, exige a melhoria da rede de telecomunicações e respetiva formação dos funcionários da empresa. De um modo geral é esperado que um SCADA tenha um tempo de vida útil mínimo de 10 anos até um máximo de 15.

Os sistemas EMS, são ferramentas informáticas de gestão dos SEE que utilizam a informação proveniente do sistema SCADA, por forma a regular todo o sistema elétrico, funcionando este de forma quase totalmente autónoma. Este sistema EMS consegue fazer uma previsão das cargas que serão exigidas à rede elétrica, podendo posteriormente definir quais os grupos de geradores que devem ou não estar em funcionamento. O sistema EMS avalia o custo da energia podendo tomar decisões de compra ou venda assim como decisões relativas ao despacho económico, ativando ou desativando unidades de produção com vista à otimização de custos, ao mesmo tempo que gere as trocas de energia com Espanha, garantindo sempre que a frequência se mantém em níveis estáveis e seguros [25].

Idealmente, a energia produzida deveria igualar sempre o valor da carga mais o valor das perdas na rede, de modo a que não existam desperdícios de energia ou falhas no sistema devido à falta de energia produzida para a carga em questão. Para tal, encontram-se sempre disponíveis reservas girante, tipicamente 10% da potência solicitada em horas de ponta, que podem entrar a qualquer momento em funcionamento sempre que haja uma falha grave de energia no sistema. Esta deve-se, geralmente, a uma interrupção da produção de energia por parte de uma ou mais centrais de produção. A quantidade de reserva pode ser calculada consoante uma determinada percentagem de consumo de pico previsto ou então, em função da probabilidade do sistema não ter capacidade suficiente para alimentar a carga. A reserva girante divide-se em reserva de resposta imediata e, resposta lenta para que o operador de sistema possa rapidamente resolver o problema. Idealmente, as reservas

devem ser distribuídas por todo o país, de modo a que falhas nas linhas não representem um impedimento no abastecimento [27]. Torna-se essencial a existência de uma reserva pois a necessidade de energia surge quase sempre num dado instante, e a partir desse momento há muito pouco tempo para repor essa energia. Assumindo que ligar uma grande central de produção a partir de combustíveis fósseis pode levar várias horas ou alguns dias no caso de uma central de produção térmica, torna-se óbvia a utilização das reservas. Na prática, apesar de ser possível prever com alguma precisão a relação consumo versus produção é impossível obter uma relação exata. Daí que a questão da variação da produção em relação à carga dá origem a uma pequena variação indesejada da frequência que, devido a um rigoroso controlo, nunca oscila mais do que 0,1% [4].

Critérios de segurança (N-1) adotado na exploração dos SEE de acordo com o especificado no manual do gestor do sistema elétrico Português.

Mediante essas variáveis, o SEE terá diferentes estados de funcionamento [28]:

- ✓ Estado Normal, as variáveis de controlo encontram-se dentro dos limites pré-estabelecidos e os critérios de segurança são cumpridos;
- ✓ Estado de Alerta, as variáveis de controlo encontram-se dentro dos limites de funcionamento, no entanto há violação dos critérios de segurança;
- ✓ Estado de Emergência, uma ou mais variáveis encontra-se fora dos limites originando um pequeno corte no fornecimento de energia;
- ✓ Estado de Reposição, falha parcial ou total no abastecimento de eletricidade. Neste estado o mais importante é garantir uma reposição segura e correta do serviço.

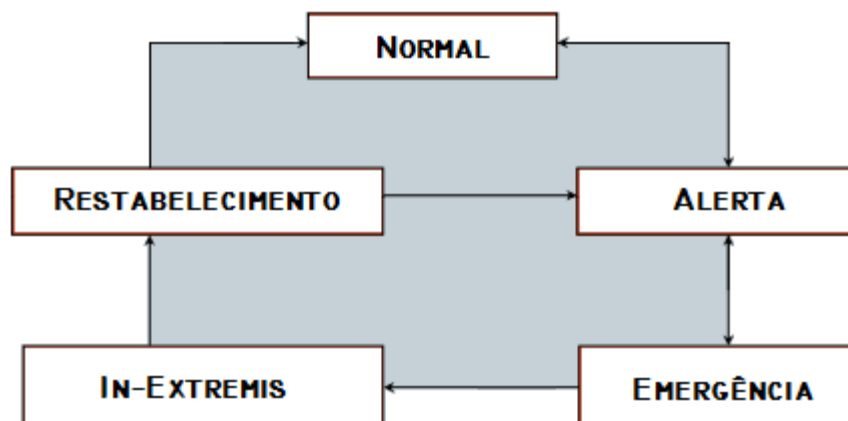


Figura 5 Diagrama de DyLiaco.

## 2.5. Estabilidade da Tensão

O controlo da frequência, referido anteriormente neste documento, está diretamente relacionado com a energia ativa, isto é, a energia que realiza trabalho e que por isso é consumida. O nível de tensão está relacionado com a energia reativa, ou seja, a energia que “ocupa espaço” e que não é consumida. Por exemplo, um motor necessita de energia reativa para criar nas bobinas o campo magnético, contudo, é a energia ativa que fará com que o motor entre em movimento. Para estabelecer a relação entre estas duas grandezas são usadas as seguintes fórmulas [33]:

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}, \quad FP = \frac{P}{S}, \quad S^2 = P^2 + Q^2$$

Onde  $S$  representa a potência aparente,  $Q$  a potência reativa,  $P$  a potência ativa e  $FP$ , o fator de potência, que estabelece a relação entre a potência ativa e a potência aparente, podendo ser descrito como a fração de energia que é transformada em trabalho. Dado que o sinal elétrico é constituído por um valor em tensão e uma frequência, é importante ter em conta o controlo do FP por forma a ser o mais próximo possível do valor unitário, caso contrário as redes teriam de ser sobredimensionadas dando origem a despesas que nenhuma entidade quer suportar. Por esta razão é que as empresas, com grandes motores elétricos ou transformadores, devem corrigir o seu FP com recurso a baterias de condensadores ou indutores, de maneira a evitarem penalizações impostas pela rede de distribuição.

## 2.6. Conclusões

Neste capítulo faz-se uma análise aos sistemas de produção de energia elétrica abordando questões essenciais como o despacho económico da produção e a gestão dos SEE, dando especial atenção á produção de energia a partir de fontes renováveis. Destaca-se neste capítulo a necessidade rigorosa de em cada instante a produção igualar a procura, respeitando as restrições físicas do sistema; A produção de origem renovável ter aumentado gradualmente ao longo dos últimos anos; A Gestão dos SEE ser assegurada através do sistema SCADA que recolhe, processa e transmite os dados; O sistema EMS que através de um conjunto de ferramentas informáticas, permite a condução e exploração dos sistemas elétricos de energia de forma segura e garantindo a qualidade da energia.

### 3. Qualidade de Energia

A qualidade de energia elétrica é uma das áreas de estudo da eletrotécnica, onde se analisa se a energia fornecida ao consumidor se encontra dentro dos limites estabelecidos pelas normas em vigor no país. Para clientes BT a qualidade está estipulada por zona, segundo a importância e a densidade populacional sob a qual se insere um cliente, podendo esta ser mais (zona A), ou menos exigente (zona C). Por outras palavras, a forma de onda deve respeitar sempre determinados parâmetros de qualidade mínimos que são iguais para clientes abastecidos à mesma tensão de alimentação mas, diferentes, ao nível do número e do tempo máximo de interrupções anuais a que podem ser submetidos.

**Tabela 6 Classificação de zonas por nível de qualidade [29]**

Zonas	Portugal Continental	Madeira	Açores
Zona A	Capitais de distrito e localidades com mais de 25 000 clientes.	Localidades com importância administrativa específica e ou com alta densidade populacional.	Cidades de Ponta Delgada, Angra do Heroísmo e Horta e localidades com mais de 25 000 clientes.
Zona B	Localidades com um número de clientes compreendido entre 2 500 e 25 000 clientes.	Núcleos sede de concelhos e locais compreendidos entre as zonas A e C.	Localidades com um número de clientes compreendido entre 2 500 e 25 000.
Zona C	Restantes localidades.	Restantes locais.	Restantes locais.

Utilizadores da mesma rede de distribuição podem sentir ou não efeitos colaterais nos seus equipamentos e podem pensar, erradamente, que a culpa é do fornecedor de energia [30]. Na verdade, diversos clientes da rede de distribuição tentam aproveitar-se de ocorrências sobre as quais têm conhecimento, tais como incêndios em Postos de Transformação (PT) e destruição de equipamentos de proteção, para associar a possíveis avarias nos seus equipamentos de maneira a poderem tirar partido de indemnizações. Por norma, os consumidores BT poderão, sentir atrasos em relógios digitais ao fim de alguns anos devido a oscilações mínimas de frequência, tremulação nas luzes, disparos nos disjuntores resultantes de picos de corrente ou, eventuais cortes na rede que comprometam igualmente as suas instalações. Em casos mais drásticos, a energia eléctrica que circula na rede pode de fato danificar seriamente ou até mesmo destruir equipamentos, especialmente se os mesmos problemas persistirem. É um facto que o número de cortes e falhas na rede eléctrica têm vindo a diminuir gradualmente em resultado do grande investimento que tem sido feito. Por outro lado, a melhoria das condições atmosféricas ao longo dos anos, contribuiu significativamente para a redução das falhas na rede [31].

**Tabela 7 Evolução do nº de interrupções na RNT, por classes de duração [4].**

Nº de interrupções	Duração							
	1seg. <T <sub>r</sub> <3min.		3min. <T <sub>r</sub> <10min.		T <sub>r</sub> >=10min.		Totais	
	Próprias	F.F.M.	Próprias	F.F.M.	Próprias	F.F.M.	Próprias	F.F.M.
1999	41		5		8		54	
2000	9	a)	14	a)	29	a)	52	a)
2001	9		10		6		25	
2002	5		9		3		17	
2003	10	0	10	1	7	14	27	15
2004	5	0	9	0	1	0	15	0
2005	2	4	2	5	1	0	5	9
2006	13	2	8	7	2	18	23	27
2007	5	0	6	1	1	0	12	1
2008	3	0	10	0	3	0	16	0
2009	8	1	4	1	1	5	13	7
2010	5	0	2	0	1	0	8	0
2011	6	0	2	1	0	0	8	1
2012	3	2	0	0	0	0	3	2
2013	5	0	3	0	0	0	8	0

F.F.M. - Fortuitas ou de força maior.

a) Não foram discriminadas.

A qualidade de energia tem um impacto económico que tem adquirido maior relevância à medida que a população fica mais dependente de equipamentos eléctricos. No caso de uma empresa, uma interrupção na linha de montagem pode representar um prejuízo de milhares

de euros, uma vez que estas estão dependentes de vários automatismos. Determinadas linhas de montagem podem levar até 4 horas para voltarem ao serviço [30]. Por sua vez, os consumidores não pretendem assistir a falhas de energia que possam danificar o seu equipamento. Analisando a longo prazo, e assumindo que o conceito de casa inteligente se vai desenvolver, a energia vai tornar-se ainda mais importante a ponto de que cada pessoa se veja impedida de entrar ou sair da sua própria casa devido a uma falha energética.

### **3.1. Nota interna EDP**

Existe uma nota interna dentro da EDP que estabelece quais as medidas a tomar desde a reclamação relativa à qualidade de energia até à sua resolução, para sistemas de microprodução, minigeração e produção em regime especial, ficando estas definidas pelos seguintes pontos:

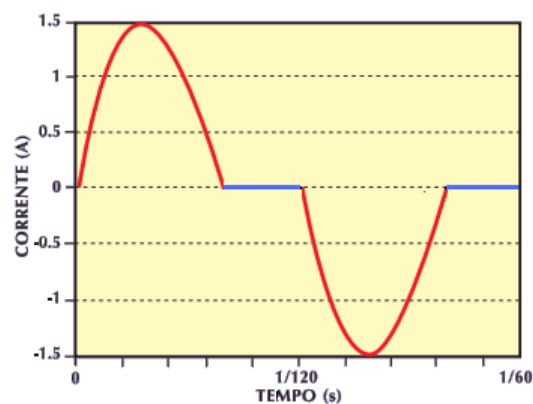
1. Apresentação de reclamação pelo cliente ou produtor ao departamento comercial que é reencaminhada à respectiva área operacional para confirmar se a reclamação tem fundamento.
2. No caso de se estar perante um problema, quer seja novo ou recorrente (já conhecido, o departamento comercial tem 7 dias úteis para apresentar uma resposta, informando a data prevista para a reparação. Pelo contrário, não sendo encontrada qualquer anomalia e, mesmo após ser informado, caso o cliente insista na queixa é feita uma análise mais promenorizada.
3. Após realização do relatório por parte da Área Operacional (AO) o departamento comercial deve ter acesso ao mesmo ficando com a responsabilidade de informar o cliente ou produtor da data para reparação. Caso novamente se comprove a não existência de problemas, o cliente é obrigado a liquidar a sua multa que varia consoante o nível de tensão.

### **3.2. Componentes Harmónicas**

A distorção harmónica não é propriamente um fenómeno novo, uma vez que na década de 30 e de 40 já existiam alguns artigos científicos que abordavam o assunto. Por essa altura, os transformadores e a interferência produzida pelas linhas de telefone constituíam o principal problema. Com o desenvolvimento da eletrónica de potência, na década de 70, o

nível de harmónicas presente na rede aumentou, uma vez que os conversores de grandes dimensões começaram a surgir e com eles uma elevada quantidade de harmónicas de corrente, resultando em problemas de sobreaquecimento nas canalizações e interferências nas redes de comunicação, fundamentalmente junto de grandes indústrias, onde era comum a presença destes equipamentos. Entretanto, começaram também a surgir nas residências diversos equipamentos eléctricos tais como micro-ondas, computadores, iluminação de intensidade regulável, variadores de velocidade, em suma todos os componentes que operem em modo de interrupção e que fizeram com que as harmónicas deixassem de ser algo exclusivo do setor industrial [32].

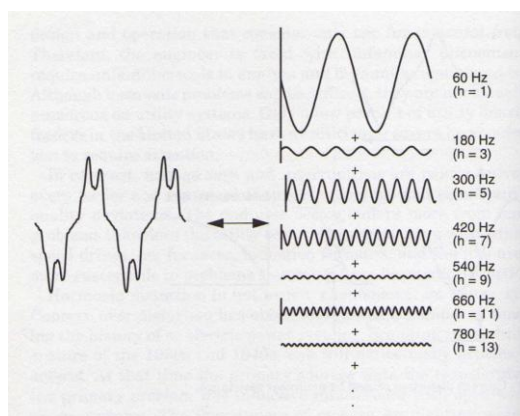
Essencialmente, as harmónicas na rede surgem devido à não-linearidade das cargas e englobam díodos, tirístores ou transístores presentes nos conversores que afetam a onda devido às sucessivas alterações de estado (ligar ou desligar), resultando em várias passagens da onda de corrente no ponto zero, sendo que são os sucessivos intervalos em que a corrente está a zero provocará o desfasamento entre a forma de onda de tensão e a de corrente. Em certos casos, a situação consegue ser tão dramática que a semelhança entre o sinal de corrente obtido com uma onda sinusoidal é praticamente inexistente. Ainda assim, apesar de aleatória, a distorção na grande maioria dos casos é periódica ou possui um valor múltiplo da frequência fundamental. No gráfico seguinte, é possível verificar o que acontece à onda de corrente quando o circuito está ligado, representado a vermelho e, desligado, representado a azul.



**Figura 6 Distorção harmónica de corrente [35].**

A análise da distorção harmónica é feita recorrendo às séries de Fourier visto que esta não é mais do que a soma de diversas ondas sinusoidais múltiplas e de valor inteiro,

adicionadas à onda de frequência fundamental designando-se por harmónicas [33]. Em situações em que o valor não é múltiplo, é denominado de inter-harmónica caso o valor seja superior e sub-harmónica no caso de ser inferior ao valor da frequência fundamental [34].



**Figura 7** Representação da Série de Fourier numa forma de onda distorcida [30].

Mesmo causando interferências em aparelhos de baixa tensão, as harmónicas de elevada ordem, superior à 25ª ordem, são tipicamente desprezadas, uma vez que não provocam danos no sistema. Exceção feita nos momentos em que o sistema entra em ressonância a esta gama de frequências, situação comum em cabos subterrâneos de transmissão de energia onde não é feita a correção do fator de potência. É uma prática comum projetar sistemas elétricos que tenham uma única ligação série á qual são conectadas posteriormente cargas e transformadores, responsáveis pela emissão de harmónicas, que acabarão por afetar os consumidores vizinhos e serão manifestamente superiores quanto maior for a combinação de cargas que se encontram entre fonte boa e o consumidor.

**Tabela 8** Taxa de distorção de corrente por equipamento [35].

Equipamento	Total	3ª H	5ª H	7ª H	11ªH
Retificador	30 %	≈ 0%	28 %	5 %	6%
Variador de velocidade	>100 %	≈ 0%	81 %	74 %	42%
Fonte de alimentação	93 %	78 %	44 %	≈ 0%	≈ 0%
Máquina de soldar	58 %	56%	9 %	9 %	≈ 0%

A presença das componentes harmónicas provoca [32] [36]:

- Sobrecarga na rede de distribuição devido ao aumento da corrente eficaz;

- Sobrecarga dos condutores de neutro devido à soma das componentes harmónicas de 3ª ordem produzidas por cargas monofásicas;
- Vibrações, sobreaquecimento, envelhecimento de alternadores, transformadores, motores e baterias de condensadores que pode provocar uma redução do tempo de vida útil em 32,5% nas máquinas monofásicas, 18% em máquinas trifásicas e 5% nos transformadores. Podem surgir eventuais ruídos em transformadores;
- Disparo em disjuntores que podem provocar paragem das linhas de montagem e gerar prejuízos para a empresa. Tais paragens podem provocar a produção de produtos com defeito caso o sistema seja totalmente automatizado. Em hospitais, falhas de alimentação podem comprometer a vida das pessoas quando estas estão dependentes de dispositivos eletrónicos.
- Aumento da fatura energética devido a perdas, por efeito de Joule, na rede do consumidor que são contabilizadas, assim como o aumento do valor do termo fixo resultante da potência contratada que é tanto maior quanto mais elevada for a potência;
- Obrigação de sobredimensionamento de condutores, transformadores e eventuais geradores de emergência que possam existir.

A tarefa de localização da fonte harmónica em redes de distribuição radiais ou em sistemas elétricos industriais é facilitada, uma vez que se sabe da existência de uma tendência para que a corrente circule da carga responsável pela emissão de harmónicas, para a fonte que alimenta o sistema. Assim, com recurso a um aparelho de medição de harmónicas que analisa todos os ramos separadamente desde o início do circuito, facilmente é encontrada a fonte de emissão. Para que a tarefa seja bem-sucedida, devem ser desconectadas todas as capacitâncias do circuito em análise, uma vez que a sua presença induzirá em erro a sua localização.

Para estimar a quantidade de harmónicas presente num sinal, existem duas técnicas: a Transformada de Fourier e a *Phase-Locked Loop* (PLL), que bloqueia a pesquisa numa faixa de frequências. Com recurso à transformada de Fourier, o sinal será desmultiplicado dando origem a um espetro através do qual é simples compreender qual a harmónica que mais contribui para a degradação do sinal. O PLL bloqueia a pesquisa numa faixa de frequências e pode ter especial interesse para sistemas onde se sabe de antemão quais as

frequências que poderão estar a exercer maior influência, mas que se desconheça qual a sua influência.

De modo a quantificar a distorção harmónica total (DHT), foram estabelecidas as seguintes fórmulas matemáticas [32]:

$$DHT_{corrente} = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}{I_1^2}} \quad (1)$$

$$DHT_{tensão} = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}{V_1^2}} \quad (2)$$

Onde  $h$  representa o número inteiro definido pelo harmónico,  $I$  o valor da corrente e,  $V$  o valor da tensão para o respetivo harmónico. Esta expressão segue a notação definida pela norma IEC 61000-2-2 e pode ser limitada ao harmónico 50, uma vez que a partir deste harmónico os valores são desprezáveis dado que são demasiado baixos.

### 3.3. Flicker

O flicker é um tópico com o qual houve alguma preocupação nos primórdios anos de 1880 quando a mudança do tradicional sistema de transmissão de energia em CC para Corrente Alternada (CA) estava a ser implementado, tudo porque a corrente alternada emitida a baixa frequência provoca o efeito de tremulação em alguns tipos de iluminação. No fundo, acaba por ser um problema de perceção para o olho humano e que é incomodativo, daí que no início do século XX vários estudos tenham sido realizados onde grupos de indivíduos eram submetidos a diversos testes com vários tipos de iluminação, com diferentes valores de intensidade luminosa. Com estes estudos, concluiu-se que a frequência a que é possível observar a tremulação encontra-se entre os [0.5; 30] Hz. Também por esta razão foram implementados em todo o mundo sistemas de transmissão de 50 e 60 Hz de maneira a resolver este problema.

O flicker pode ser considerado cíclico, quando existe uma relação periódica das flutuações de tensão no sistema, e não-cíclico quando a flutuação é ocasional.

Soluções de mitigação incluem a utilização de condensadores estáticos, recorrer á eletrónica de potência através de sistemas de comutação, ou ainda aumentar a capacidade do sistema utilizando transformadores de maior potência aumentando a tensão de alimentação. No entanto, a escolha final do método a utilizar irá depender essencialmente do tipo de carga que causa o flicker, da capacidade do sistema em alimentar a carga, e do custo. Submeter aparelhos eletrónicos a uma exposição prolongada do flicker conduz a uma redução da longevidade do equipamento.

Na Europa e em países que adotem as normas IEC, o controlo do flicker é feito através da norma IEC 61000-4-15. Noutros países, como o caso dos Estados Unidos, as normas *Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE*, 141-1993 e a IEEE 519-1992 são as que estabelecem os limites do flicker, através da utilização de gráficos com curvas de flicker que servem de termo de comparação para avaliar a sua intensidade num sistema elétrico. Atualmente, a IEEE tem vindo a trabalhar para que a norma IEC passe a ser adotada. Para isso, foi adicionada uma curva que tenha em conta a diferença entre os 230 V usados na Europa, e os 120 V usados na América.

As principais técnicas de medição de flicker são feitas através de [30]:

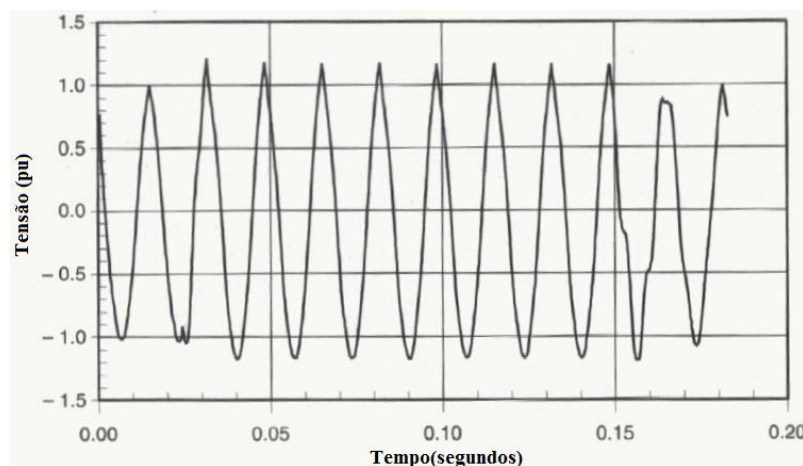
- *Root Mean Square (RMS) strip charts* onde se assume que se o desvio do valor da tensão RMS for superior ao valor apresentado nas normas IEEE 141 ou IEEE 519 a determinadas frequências, se está perante o flicker. Este método tem como grande vantagem o facto de poder apresentar com maior precisão o valor da frequência a que surge o flicker.
- *Fast Fourier Transform* onde o flicker é desmodulado de maneira a serem separados por sinais a diferentes valores de frequência, que depois são comparados com uma curva de flicker. A grande desvantagem deste método é que alguns aparelhos eletrónicos ao realizarem a leitura do sinal apresentam o flicker “dominante”, descartando os restantes.
- *Flicker meters* que são aparelhos que desmodulam o sinal e realizam análise estatística.

### **3.4. Sobretensões**

Sobretensão é definida pelo documento do IEEE 1159 como sendo o aumento do valor RMS do nível de tensão ou corrente correspondente a um valor compreendido entre os

110% e os 180% do valor nominal, com durações que variam entre o meio ciclo até um minuto, sendo classificado como uma variação de curta duração. Uma sobretensão é caracterizada pela sua magnitude e duração, estando associadas a falhas no sistema que podem ser classificadas como sobretensões permanentes e sobretensões transitórias. As sobretensões permanentes podem ter origem na rede MAT (Muito Alta Tensão) quando existem períodos de grande injeção de energia na rede, principalmente a partir de fonte eólica e, nesse caso, é necessário que a EDP faça um pedido à REN para que esta energia seja encaminhada para outras regiões. Isto é possível através do transformador Alta Tensão/Média Tensão (AT/MT) regulando a razão de transformação, ou através das baterias de condensadores presentes na subestação com o intuito de corrigir o fator de potência. Nas sobretensões transitórias, as descargas atmosféricas são as mais preponderantes. Em outros casos, podem ser provocadas pela interrupção da alimentação a uma carga que consuma grandes quantidades de energia, cortes súbitos do fornecimento de corrente originando uma tensão superior, transferências de carga de uma fonte para outra durante a comutação de um banco de condensadores [31] [37].

Por forma a atenuar os efeitos, ligar à terra de proteção todas as massas metálicas, criando uma rede equipotencial ou instalar dispositivos de proteção contra sobretensões, tais como os *Dynamic Voltage Restorer* (DVR). As sobretensões sendo mais suscetíveis de acontecerem na BT, uma vez que irão sofrer influência de toda a rede que abrange tudo em volta da mesma subestação. Em contrapartida, os defeitos provenientes da BT não se farão sentir nas redes MT e AT, uma vez que é muito difícil que a energia circule nesse sentido.



**Figura 8 Exemplo de uma sobretensão [30].**

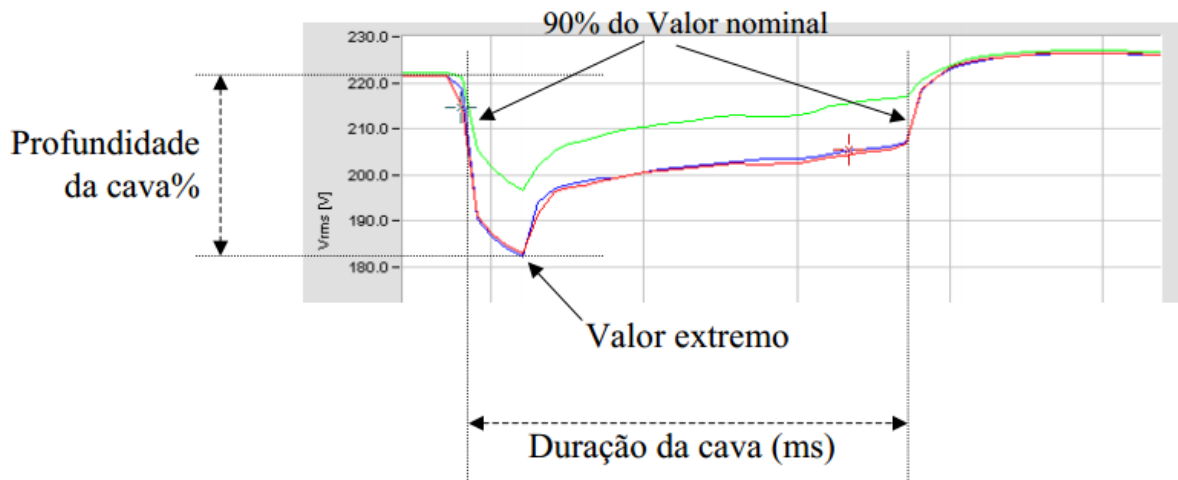
### 3.5. Cavas de Tensão

As cavas ocorrem quando há diminuições bruscas no valor da tensão que oscilam entre 1 e 90% durante uma pequena fração de tempo que pode variar entre os 10 ms e 1 minuto, dependendo do tempo de atuação das proteções na rede MT.

De uma maneira geral, as cavas surgem:

- Durante o arranque de grandes cargas, nomeadamente motores de elevadas potências onde, a tensão é forçada a baixar para compensar a corrente de arranque;
- Após ligar um grande transformador, é necessário uma grande corrente de magnetização;
- Devido a instalações com cablagens defeituosas podendo originar uma queda de tensão adicional se for transmitida uma corrente muito elevada, devido um aumento inesperado da impedância no cabo;
- Defeitos e situações de curto-circuito na instalação ( $U=0$ );
- Em casos extraordinários, através das avarias nos reguladores automáticos de tensão na rede de distribuição e transporte;
- Em mais de 80% dos casos, devido a condições atmosféricas adversas, fogos florestais ou erros de operação que provocam, de uma maneira muito frequente e imprevisível, falhas entre a fase e a terra, tanto na rede de transporte como na de distribuição.

As cavas [30;50] % produzidas em frações de tempo inferiores a 1 segundo, podem originar mudanças de estado nos relés, contactores e apagar lâmpadas de mercúrio, porém, é possível reduzir os problemas daí decorrentes utilizando *Uninterruptible Power Supply* (UPS) passar sinais CA para CC ou então utilizar um Compensador de Cavas de Tensão (CCT) ou um DVR. O CCT consiste num transformador que é colocado em série com a linha de distribuição por forma a fornecer tensão que, quando somada à tensão residual da cava, repõe a forma de onda, de maneira a que a carga não seja afetada [37] [38].



**Figura 9** Descrição pormenorizada da cava [36].

Apesar dos fatores que mais contribuem para as falhas de funcionamento dos equipamentos serem a duração e a magnitude das cavas, existem outros que tornam difícil compreender qual a origem da falha. A sensibilidade dos equipamentos face às cavas de tensão está muito dependente do tipo de carga específica, das definições de controlo e das próprias aplicações. Assim temos:

- Equipamento sensível apenas à magnitude da cava onde se incluem os dispositivos relés, controladores de velocidade de motores e equipamentos automatizados. Estes equipamentos são igualmente sensíveis às sobretensões, no entanto, a duração da cava tem muito pouca importância.
- Equipamento sensível à magnitude e à duração da cava, sendo contudo a duração a questão mais importante. Incluem-se neste grupo equipamentos que utilizem fontes de alimentação.
- Equipamento sensível a características mais ténues que a duração e a magnitude, tais como desequilíbrio de fase durante a ocorrência da cava, ponto da onda no qual a cava inicia e termina, ou quaisquer oscilações transitórias que ocorram durante a perturbação.

Na presença de equipamentos sensíveis às cavas, é possível adotar um sistema de monitorização gráfico que relaciona a magnitude com a duração e que permite mostrar facilmente sob que circunstâncias o equipamento é ou não afetado.

### **3.6. Regulamento de Qualidade de Serviço**

A 30 de setembro de 2013 foi aprovado pela ERSE o novo Regulamento de Qualidade de Serviço, RQS, publicado em Diário da República. Este documento regula a qualidade no que respeita:

- À comunicação entre os clientes e outros utilizadores de redes;
- A serviços, como a ativação do fornecimento, assistência técnica e mudança de comercializador;
- À compensação por incumprimento de padrões individuais;
- A clientes com necessidades especiais e clientes prioritários;
- A auditorias, prestação de informações à ERSE e resolução de conflitos;
- À continuidade de serviço, onde é estabelecido o número e a duração das interrupções anuais permitidas para cada nível de tensão;
- À qualidade comercial, no que respeita ao atendimento, assistência e avaliação da satisfação de clientes;
- À qualidade de energia elétrica, onde estão definidas todas as características da forma de onda de tensão.

No mesmo regulamento está estabelecido que em condições normais de exploração, as características da onda de tensão de alimentação nos pontos de entrega devem respeitar:

- 1) Em MAT, o disposto no procedimento n.º 10 do MPQS;
- 2) Em AT, MT e BT o disposto pela norma NP EN 50160.

A frequência nominal da tensão de alimentação deve ser 50 Hz. Em condições de funcionamento normal, o valor médio da frequência fundamental, medido durante períodos de 10 segundos, deve estar compreendido para sistemas com ligação síncrona a um sistema interligado, entre  $50 \text{ Hz} \pm 1\%$  (de 49,5 Hz até 50,5 Hz) durante 99,5% do tempo total de um ano. Em situação alguma, a frequência pode baixar dos 47 Hz ou ultrapassar os 52 Hz. No caso de sistemas sem ligação síncrona a um sistema interligado como o que acontece

por exemplo nos Açores e na Madeira, a frequência pode variar  $50 \text{ Hz} \pm 2 \%$  (de 49 Hz até aos 51 Hz) durante 95% do tempo total de uma semana, não podendo em situação alguma variar 15%, baixando dos 42,5 Hz ou ultrapassar os 57,5 Hz [39].

As variações da tensão de alimentação não devem exceder em condições de funcionamento normal - excluindo os períodos com interrupções -  $\pm 10\%$  da tensão nominal em redes interligadas com sistemas de transmissão e,  $+10\%$  ou  $-15\%$  em redes não interligadas ou para utilizadores especiais remotos da rede [39].

Em condições normais de funcionamento, durante cada período de uma semana [39]:

- A severidade de longa duração do flicker  $P_{lt}$  causado pelas flutuações de tensão deve ser menor ou igual a 1, para 95% do tempo.
- Em condições normais de funcionamento, durante cada período de uma semana, 95% dos valores eficazes médios de 10 minutos de cada tensão harmónica individual deve ser menor ou igual aos valores indicados no Quadro 1 da norma NP EN 50160.

Ressonâncias poderão causar tensões mais elevadas para uma harmónica individual, além disso, a DHT da tensão de alimentação, incluindo as harmónicas até à ordem 40, deve ser menor ou igual a 8%. Já as tensões inter-harmónicas estão em estudo, devido à pouca experiência no domínio, não existindo para já limites estabelecidos. Sabe-se, no entanto, que as inter-harmónicas mesmo de pequena amplitude, provocam flicker ou interferências nos sistemas de telecomando centralizado.

### **3.7. Conclusões**

Embora neste capítulo tenham sido abordados todos os principais problemas que englobam a qualidade de energia, foi dada maior ênfase às componentes harmónicas, uma vez que a presença do inversor de tensão, ou ondulator, no sistema de microgeração é, à partida, um factor de problemas desta ordem. Destaque ainda para a ausência de limites das componentes interharmónicas na norma NP EN 50160, dado que o seu impacto se encontra ainda em estudo. Neste capítulo foram também apresentados os procedimentos a adotar em caso de falha na rede de distribuição, assim como analisada a evolução do número de falhas por duração, que tem vindo a diminuir ao longo dos últimos anos fruto do elevado investimento realizado na rede de distribuição.



## 4. Redes Elétricas

As redes elétricas são responsáveis pela transmissão da energia elétrica desde as centrais de produção até ao consumidor final, e são distinguidas consoante determinados aspetos, nomeadamente, o valor da tensão nominal da rede, a função que esta vai desempenhar e a sua topologia [40]. Na grande maioria dos casos as redes são CA, visto ser mais fácil de produzir e transportar a energia, uma vez que em CC o equipamento que realiza essa operação é mais caro e complexo. Todavia, a transmissão em CC pode ser benéfica quando a energia tem de ser enviada através de distâncias muito longas com alguns milhares de quilómetros, necessita apenas de duas linhas em detrimento das três usadas em CA, o que dá origem a perdas inferiores resultantes exclusivamente da energia ativa [2].

No que toca ao valor da tensão nominal as redes podem ser designadas como:

- ❖ Baixa Tensão (BT), que independentemente do país é inferior a 1 kV. Na América do Norte e América Central esses valores a oscilam entre [100;130] V à frequência de 60 Hz. Já na Europa, e em praticamente todos os países da Ásia e África o valor oscila [200;240] V à frequência de 50 Hz. No caso do Japão, a tensão fixa-se nos 100 V à frequência de 60 Hz. Estas linhas transportam a eletricidade desde o PT até aos locais de consumo, por linhas que podem ser aéreas ou subterrâneas. São linhas

normalmente constituídas por cinco condutores, três fases, um neutro e um condutor que serve a iluminação pública [41].

- ❖ Média Tensão (MT) [1;45] kV. No nosso país, os mais utilizados estão à tensão de 10, 15 e 30 kV (na Europa por vezes utiliza-se os 20 kV). Servem para efetuar ligação entre as subestações e os PT ou entre vários PT, podendo ser feitas por linhas subterrâneas ou aéreas (geralmente apoiadas em postes de betão).
- ❖ Alta Tensão (AT) também conhecida em Portugal por repartição ou grande distribuição, fixa-se nos 60 kV podendo oscilar entre os 45 e os 110 kV. São linhas que servem para unir centrais de produção às subestações ou fazer a ligação entre diferentes subestações, através de linhas subterrâneas ou aéreas (geralmente postes metálicos).
- ❖ Muito Alta Tensão (MAT) sempre que os valores ultrapassam os 110 kV. Também conhecidas como Autoestradas de Eletricidade, estas linhas têm como principal objetivo a transmissão de energia em potência e a longas distâncias e, estabelecer a ligação á rede do país vizinho. As tensões variam entre os 150, 220 e, 400 kV [42]. Nos EUA podem atingir os 230, 345, 500 e 765 kV.
- ❖ Ultra Alta Tensão, UAT, utilizada em casos excecionais quando o valor ultrapassa os 750 kV. Na Europa existe, pelo menos, uma linha desta envergadura que faz a ligação entre uma central nuclear na Ucrânia e a Hungria. Na China, chegou a estar em funcionamento uma linha de 1000 kV.

Transportar a energia com elevados valores de tensão resulta numa redução das perdas de transmissão por efeito de Joule, permite que a secção do condutor seja inferior, assim como permitirá uma redução das dimensões da rede para transportar a mesma quantidade de energia. Para garantir as condições de segurança neste tipo de transmissão, as linhas requerem um bom isolamento e uma área envolvente isenta de obstáculos tais como árvores ou estruturas.

Relativamente à sua topologia, estas redes dividem-se em:

- ❖ Rede em antena: ligação direta desde o ponto de alimentação até à carga. São muito utilizadas em zonas rurais, mas pouco usadas em zonas urbanas devido à fraca qualidade do serviço;
- ❖ Rede radial: neste tipo de rede não existe qualquer ponto de interseção comum, pois as redes expandem-se desde um ponto de alimentação até às imediações. São as que apresentam menor fiabilidade, menor custo e são usados geralmente na distribuição. Não havendo nenhum microprodutor ligado à rede radial, a energia provem sempre do ponto de alimentação para a carga. No caso de existir esta situação inverte-se, podendo existir correntes bidirecionais;
- ❖ Rede malhada: é uma topologia que permite que a energia tome diversos caminhos até chegar ao consumidor, e são sempre projetadas para que em caso de avaria de uma das linhas, a outra consiga realizar a compensação sem que haja risco para o sistema. Esta rede apresenta uma maior fiabilidade assim como um maior custo (são precisos mais cabos, melhoria das telecomunicações e, eventuais verificações de disjuntores), sendo indispensáveis nas redes de transporte. Nesta rede, o sentido das correntes é bidirecional;
- ❖ Rede em anel: é uma rede malhada com exploração radial onde são utilizados interruptores normalmente abertos que podem ser fechados no caso de haver alguma indisponibilidade na linha.

Quanto à sua especificidade, as redes elétricas podem ser definidas como:

- ❖ Redes de interligação que servem de ligação entre diferentes países sendo especialmente úteis em caso de falha súbita no país vizinho. A interligação oferece mais estabilidade e segurança à rede, ajudando também a reduzir os custos com as reservas de energia. Na rede Europeia, esse transporte é feito sempre através de linhas de 220 e 400 kV, a uma frequência fixa de 50Hz. No caso de países ou regiões vizinhas que utilizem diferentes frequências, as interligações podem ser feitas em corrente contínua, sendo posteriormente transformada em corrente alternada com a frequência pretendida.

- ❖ Redes de transporte que asseguram o transporte de enormes quantidades de energia em MAT a grandes distâncias, desde os grandes centros produtores, tais como centrais hídricas, térmicas ou nucleares, até às subestações ligadas às redes de distribuição. Em Portugal, a Rede Nacional de Transporte é concessionária da REN por um período de 50 anos, que tem também responsabilidade da gestão e operação do Sistema Elétrico Nacional. A REN conta atualmente com 8 371 km, 190 transformadores, 13 postos de corte e 65 subestações [42].

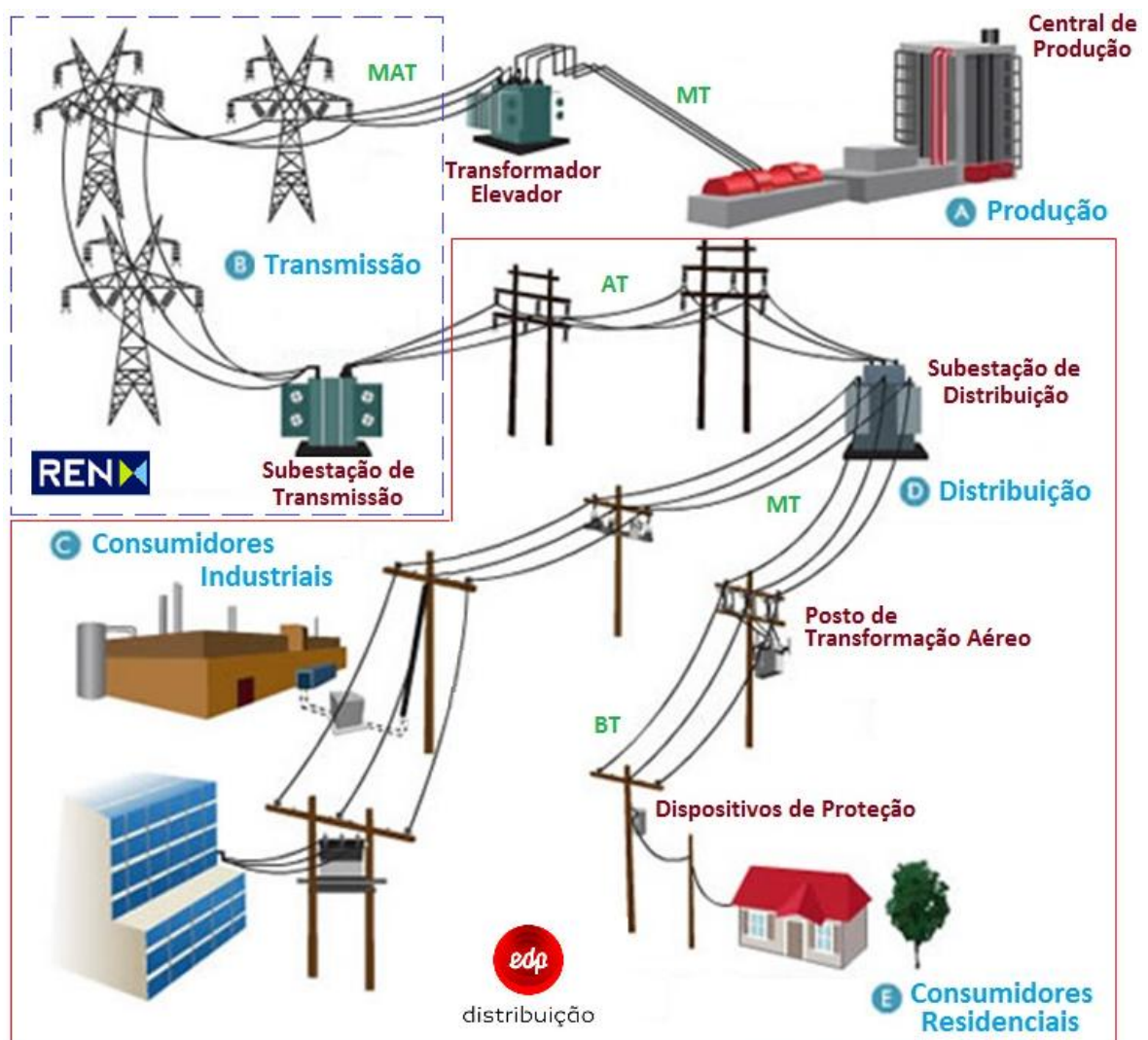


Figura 10 Representação de um sistema elétrico de energia [43].

## 4.1. Rede de Distribuição

Em Portugal Continental a empresa titular da concessão para a exploração da Rede Nacional de Distribuição (RND), é a EDP Distribuição, responsável pela energia elétrica em MT, AT e das concessões municipais de distribuição de energia em BT que inclui as linhas aéreas, linhas subterrâneas, postes de corte ou seccionamento, assim como os PT's e as subestações de distribuição (AT/MT) e (MT/MT) [44].

**Tabela 9 Detalhes da Rede de Distribuição [45].**

REDE NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO		
Subestações AT/MT:	Nº.	348
	Potência Instalada	15.077 MVA
Subestações MT/MT:	Nº.	47
	Potência Instalada	823 MVA
Rede AT:	Aérea	8.441 Km <sup>2</sup>
	Subterrânea	458 Km <sup>2</sup>
Rede MT:	Aérea	58.674 Km <sup>2</sup>
	Subterrânea	14.672 Km <sup>2</sup>

Na rede AT, a alimentação é garantida através das subestações da Rede Nacional de Transporte (RNT) nos designados pontos injetores e, a distribuição, feita normalmente a 60 kV, com exceção da linha AT que liga Pedralva ao Lindoso através de 132 kV [46]. A sua estrutura é genericamente em malha sendo que a exploração é feita em malha fechada, sempre que possível. Apesar de as zonas urbanas de Porto e Lisboa serem compostas por uma rede AT subterrânea, a maior parte desta rede é aérea e assegurada por postes metálicos que podem variar entre os 20 e os 40 metros, dependendo das características da zona envolvente [47].

A rede MT é explorada radialmente, sendo que em zonas urbanas possui uma estrutura em fuso ou anel maioritariamente subterrânea. Em zonas rurais, possui uma estrutura essencialmente radial arborescente do tipo aéreo. De modo a prestar melhor qualidade de serviço, a rede MT possui ao longo do seu percurso PT's totalmente telecomandados e, Órgãos de Corte de Rede, OCR, presentes nas linhas, e os AT's. Estes equipamentos permitem que no caso de falha, esta seja detetada mais facilmente podendo o serviço ser repostado com maior brevidade. Quanto à distribuição é feita a 30, a 15 e, a 10 kV sendo que os níveis mais elevados são usados em zonas em que os pontos de consumo estão mais dispersos, de forma a diminuir as perdas por efeito de Joule e os mais baixos, na região litoral, e em cidades como Braga, onde as cargas estão mais concentradas.

As subestações AT/MT são automatizadas e podem ser telecomandadas à distância ou comandadas no próprio local, para isso deve ser definido no painel de instrumentos da subestação através de um interruptor o modo “D” para controlo à distância e “L” para controlo local. Este modo pode ser especialmente importante em caso de acidente grave ou de uma falha de comunicação do sistema de transmissão.

A configuração mais comum para estas subestações pressupõe que as mesmas tenham a possibilidade de ser alimentadas a partir de duas linhas AT, dotadas de um barramento AT e, que possui dois transformadores de potência (TP). Em zonas de menor densidade de cargas existem subestações AT/MT, com única alimentação AT ou único transformador, mas que a sua configuração permite uma expansão futura. Em caso de ocorrer uma falha numa subestação sem reserva, a EDP possui duas subestações móveis com dimensões semelhantes a um contentor de transporte, dotadas de um posto de transformação, controlador de temperatura e, pelo menos, um disjuntor AT ou MT. Na verdade, é quase como um TP móvel apesar de se designar de subestação devido à presença dos disjuntores [31].

Existe um plano de monitorização da Qualidade da Energia Elétrica para as subestações AT/MT e, postos de transformação de distribuição que preveem um conjunto de ações de medição, análise e avaliação da qualidade disponível a partir dos barramentos das suas instalações espalhadas pelo país. Tais ações de monitorização baseiam-se nas recomendações da norma NP EN 50160, também estipuladas no artigo 19º e 20º do RQS em vigor, que consistem em medições de duração trimestral realizadas nos barramentos de MT de subestações AT/MT e quadros gerais BT dos postos de transformação de distribuição alimentados daqueles barramentos. Situações que os valores não se encontrem dentro dos parâmetros são analisados caso a caso, conduzindo a eventuais necessidades de investimentos a realizar.

Os pontos de transformação MT/BT podem ser exteriores, do tipo AS ou do tipo AI. Os interiores podem ser torres de cabine alta ou cabine baixa, estando estas habilitadas para receção de linha aérea e encaminhamento por linha subterrânea.

Na região de Braga, a Solidal, a Alcobre e a Cabelte são as empresas que asseguram maior abastecimento de cabos necessários à rede de distribuição sendo que as encomendas da EDP se resumem aos seguintes tipos:

Tabela 10 Tipo de linhas usadas na EDP [47] [35].

LINHA	NÍVEL	TIPO	SECÇÃO
Aérea	BT	LXS [Cabo torçada]	2x16/ 4x16/ 4x25+16/ 4x50+16
			4x70+16 /4x95+16
	MT	Aluminio/Aço [nú]	235 / 160 / 90 / 50
		Cobre [nú]	120 / 95 / 50 / 25
		Aster	34,4 / 75,5
AT	Aluminio/Aço [nú]	235 / 325 / 2x325 [par]	
Subterrânea	BT	LSVAV	2x16 / 4x16 / 4x50 / 4x95
			3x185+95
	MT	LXHIOV	120 / 240
LXHIOZ1			

Na EDP Distribuição, as ligações de linha aérea e linha subterrânea feitas das subestações até cada PT, são registadas em cartas de rede. Estes documentos permitem não só manter registos para funcionários que se encontrem no escritório, como também para auxiliar os técnicos que se encontrem no terreno e que necessitem de se deslocar até junto de uma linha ou equipamento, quer este seja um órgão de corte ou um PT. É também com base nestes documentos que é feita a comunicação entre técnicos de manutenção e o centro de condução, com o qual é necessário estabelecer contacto sempre que se pretende fazer uma manobra na rede como desativar ou ativar temporariamente um PT, em manobras para localização de falhas na rede, ou dar conhecimento de uma nova entrada ao serviço de um PT. Existem centros de condução no Porto, responsável pela zona Norte e Centro, e outro em Lisboa responsável pela zona Sul. Em seguida, é apresentado um exemplo de uma carta de rede que pode ser interpretada com recurso ao documento presente no anexo A.1.

## 2 Equipas

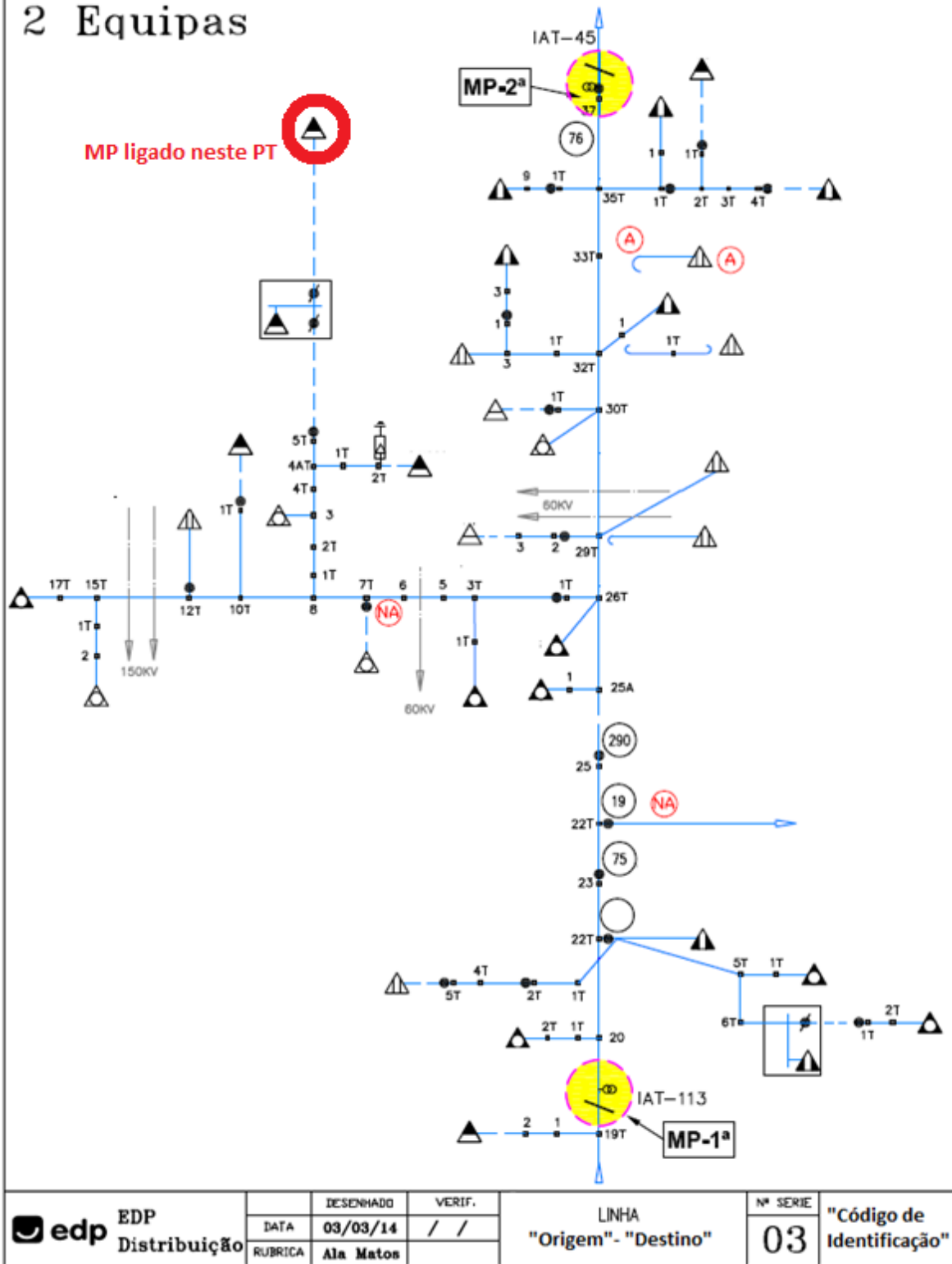


Figura 11 Exemplo de carta de rede [44].

## 4.2. Redes Inteligentes

As redes inteligentes, *smart grids*, tem vindo a ser implementadas por todo o mundo, onde a China e os Estados Unidos da América surgem com investimentos na ordem dos 7,3 e 4,5 mil milhões de *United States Dollar* (USD) respetivamente [48]. Em Portugal o programa piloto da EDP implementou o *Inovcity* no centro da cidade de Évora, passando esta a ser interligada através de uma rede inteligente. Na região de Braga e Lisboa, essa instalação tem sido feita de uma forma gradual, através da instalação de uma *energy box* em cada consumidor e de *Distribution Transformer Controller* (DTC's) em Postos de Transformação, que permite que o mesmo envie através de um sinal *General Packet Radio Services*, *GPRS*, para o DTC, informações relativas ao seu consumo [31]. Tais informações circularão de uma forma bidirecional onde o cliente presta informações relativas aos consumos instantâneos, a taxa de variação, a localização e a respetiva qualidade de energia que permitirá compreender qual a forma mais eficiente e económica de produzir a energia que este necessita. A rede inteligente irá assegurar qualidade de energia para todos os utilizadores, ajustando o fornecimento de energia às suas necessidades, permitindo a monitorização através de métodos de controlo avançado, realizando um rápido diagnóstico que permite apresentar soluções precisas para problemas que abrangem a qualidade de energia, tais como falhas na linha ou fontes de injeção de componentes harmónicas. Se necessário, a rede inteligente será capaz de isolar um problema do resto do sistema até que o normal funcionamento da rede seja reposto, garantindo assim mais estabilidade para o consumidor. Grandes penetrações de energia na rede a partir de fonte renovável, cuja produção é variável, podem tornar-se mais difíceis de gerir devido à necessidade de coordenar esse processo com o despacho e a procura. Daí que haja a necessidade de incorporar sistemas de armazenamento de energia económicos e eficientes que possam funcionar como forma de superar tais desafios com a certeza de que o futuro passa por este tipo de redes [49].

## 4.3. Conclusões

A rede de distribuição está a integrar novos sistemas que alteram completamente a forma de operar e controlar a transmissão de energia elétrica, sendo a microprodução, o armazenamento e os veículos elétricos os maiores desafios. A estes desafios junta-se a

complexidade resultante da implementação das *smartgrids* na gestão das redes elétricas. A rede elétrica aumentará durante os próximos anos para fazer face ao aumento crescente do consumo de energia elétrica que se prevê que duplicará nos próximos 30 anos. Neste capítulo, são apresentadas as principais características das redes de transmissão de energia, e respectivos níveis de tensão, utilizados nas redes elétricas a nível mundial.

## 5. Trabalho Realizado - Braga

O caso de estudo que é abordado nesta dissertação é relativo a um sistema FV, onde o produtor apresenta queixas à EDP Distribuição devido à impossibilidade de produzir energia elétrica para posterior venda à rede. Numa breve descrição do sistema, o cliente possui um sistema fixo no telhado, numa área que totaliza cerca de 28 m<sup>2</sup>, típico de um cliente com uma potência instalada de 4.5 kWp, ou seja, abrangido pelo regime geral.



**Figura 12 Sistema FV em estudo.**

Numa primeira fase, foi efetuada uma deslocação ao local para tentar compreender a razão do problema, onde foi possível apurar que o disjuntor atuava, impedindo a injeção de fonte renovável de energia uma vez que a tensão na rede de distribuição, apesar de se encontrar

dentro dos parâmetros de qualidade, era demasiado elevada (próximo dos 244 V, sem produção) para poder aceitar a energia produzida pelos painéis. Ao entrar em produção, especialmente em dias de elevada radiação solar, o disjuntor disparava pois a produção fazia com que a tensão na rede ultrapassasse os 259 V. Deste modo, foi feita uma deslocação ao Posto de Transformação de Distribuição, PTD, com a finalidade de regular a razão de transformação, baixando uma tomada ao transformador, para que deste modo a energia pudesse ser entregue na rede a 238 V, evitando que o disjuntor do produtor voltasse a disparar, mesmo que a radiação que incidisse sobre o painel fosse muito elevada. Algum tempo depois, o mesmo cliente voltou a apresentar a mesma queixa, porém, o problema apresentado pelo cliente não era da responsabilidade da EDP uma vez que o problema residia na própria instalação do microprodutor, tendo-se chegado á conclusão de que a ficha do cabo que faz a ligação entre o inversor e o painel, estava danificada e por isso a provocar mau contato, daí que a energia não pudesse ser injetada na rede. O produtor foi aconselhado a contactar a empresa instaladora por forma a resolver a sua situação.

### 5.1. Recolha de dados

Uma vez reposto o normal funcionamento da microprodução do cliente, estavam reunidas as condições para avançar para a recolha dos dados essenciais para a realização deste trabalho. Desta maneira, munido de um aparelho de análise da qualidade de energia, o Fluke 1760, efetuou-se uma nova deslocação ao local onde foram feitas as ligações com vista á recolha dos dados relativos á corrente e á tensão.

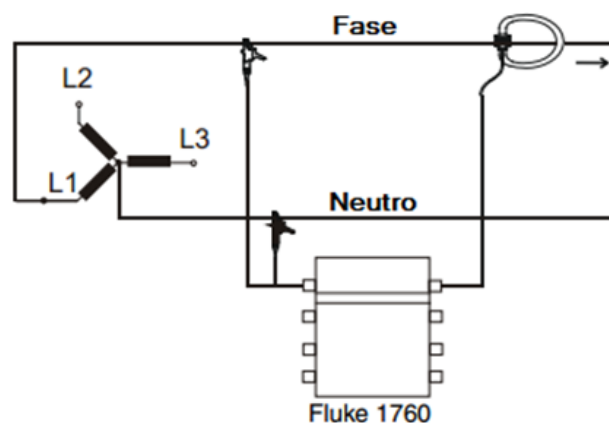


Figura 13 Esquema de ligação [50].



**Figura 14 Esquema de ligação [50].**

O Fluke 1760 é um equipamento altamente preciso e de elevado valor comercial, que tem a possibilidade de ser programado para efetuar leituras em modo trifásico, bifásico ou monofásico. Este dispositivo tem dois modos de operação, o modo que permite a leitura de valores reais, medidos e analisados no mesmo instante, no caso do utilizador ter à sua disposição um portátil, e um cabo RJ-45. O segundo modo de operação, que foi utilizado neste trabalho, exige uma programação prévia do equipamento para que posteriormente seja apenas ligado aos pontos onde se pretende efetuar a medição da tensão e da corrente. Após recolha dos dados, é necessário fazer o *download* dos mesmos para um computador que tenha o software do próprio aparelho instalado. De forma a permitir que técnicos menos qualificados fossem capazes de manejar este equipamento com relativa facilidade, foi elaborado um novo manual - que pode ser consultado no Anexo B.1 - dado que o anterior não dispunha de uma versão em português, nem de um grafismo simplificado para o utilizador.

## 5.2. Resultados da primeira simulação

A primeira leitura dos dados foi feita durante quase três horas, tendo início pelas 14:20 e terminado por volta das 17 horas, sob condições atmosféricas que variaram ao longo do tempo. Através de uma simulação feita pelo software disponibilizado pela Comissão Europeia o *Photovoltaic Geographical Information System*, PVGIS, é possível fazer uma estimativa da radiação solar que incidiu sobre o painel naquele momento.

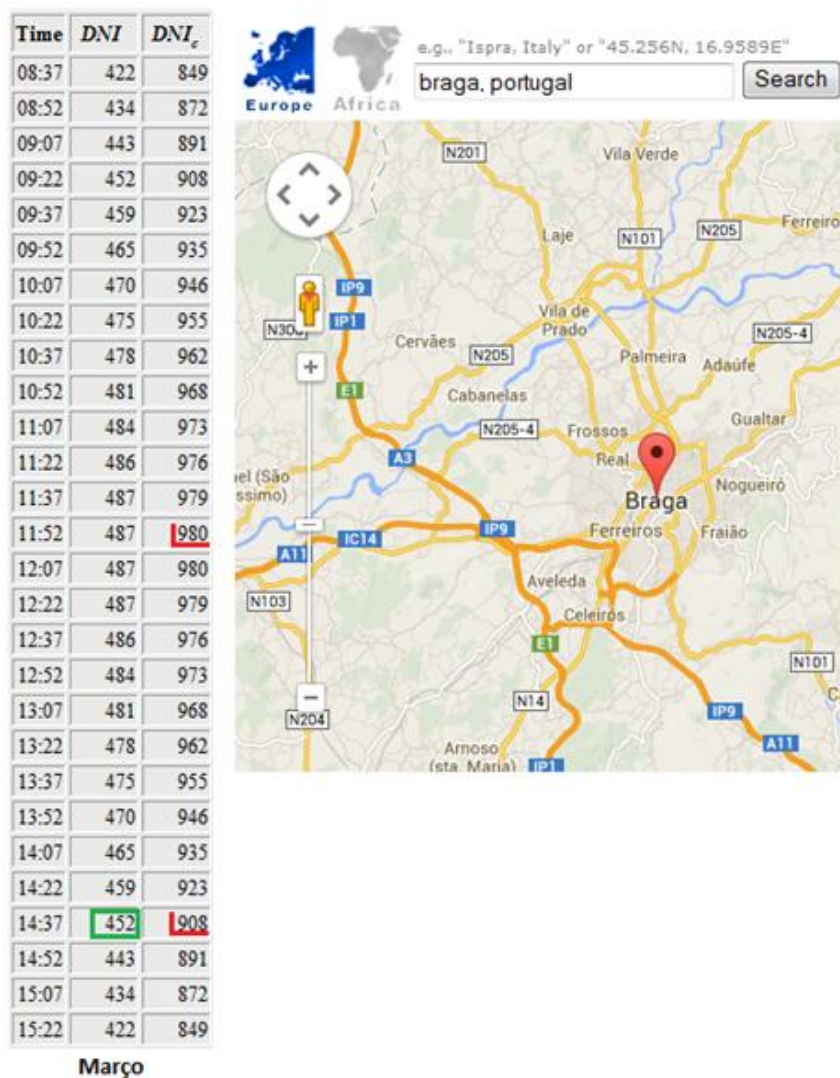


Figura 15 Informação relativa á radiação incidente, em Março [51].

Sabendo os valores do *Daily Normal Irradiation*, DNI, e, do *Daily Normal Irradiation Clean Sky*, DNI<sub>c</sub>, em W/m<sup>2</sup>, é esperado que a verdadeira radiação que incide sobre o painel se encontre entre estes valores, dado que o céu não esteve sempre limpo durante a recolha.

A distorção harmónica da microprodução está presente no sinal devido á ação do inversor, sendo seriamente afetada pela 5ª harmónica. Ao analisar o gráfico considerando os parâmetros da norma EN 50160 para as tensões harmónicas, é possível concluir que o sinal se encontra dentro dos requisitos mínimos de qualidade.

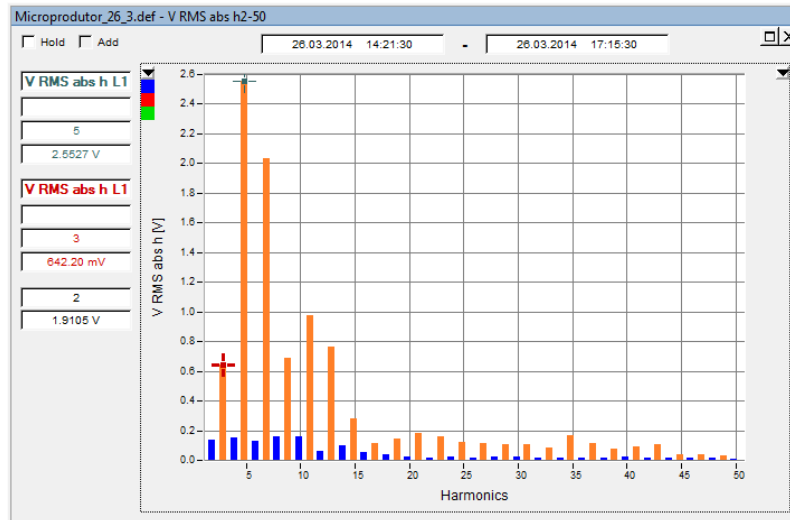


Figura 16 Distorção harmónica de tensão, em valor absoluto.

A distorção inter-harmónica é reduzida, contendo uma componente fundamental. Devido á pouca experiência neste domínio, os níveis de tensão inter-harmónica encontram-se em estudo e por isso não estão definidos na norma.

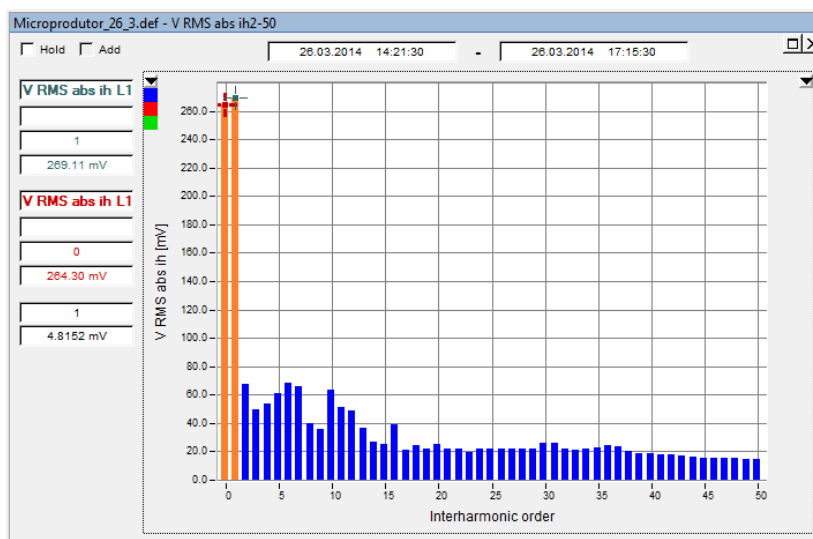


Figura 17 Distorção inter-harmónica de tensão, em valor absoluto.

As harmónicas de corrente de 3ª, 5ª e 11ª ordem são as maiores infractoras.

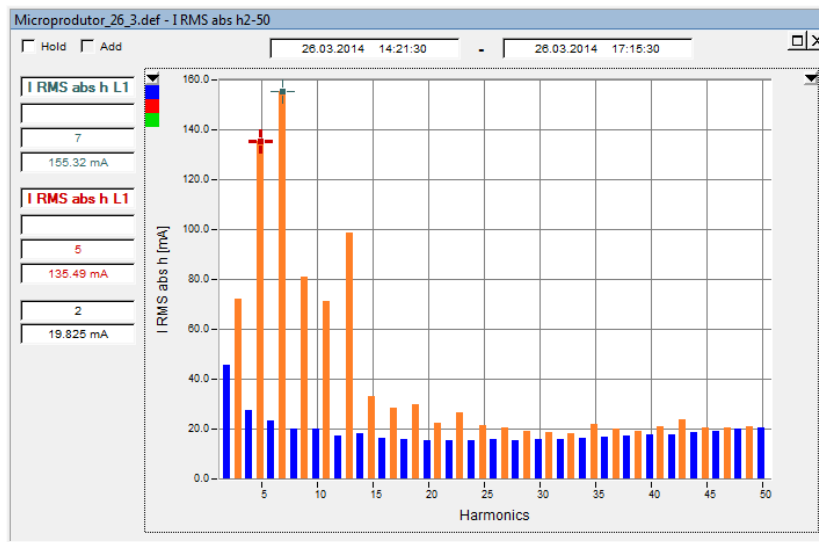


Figura 18 Harmónicas de corrente presentes no sinal, em valor absoluto.

Quanto às inter-harmónicas, a componente fundamental é a que exerce maior influência.

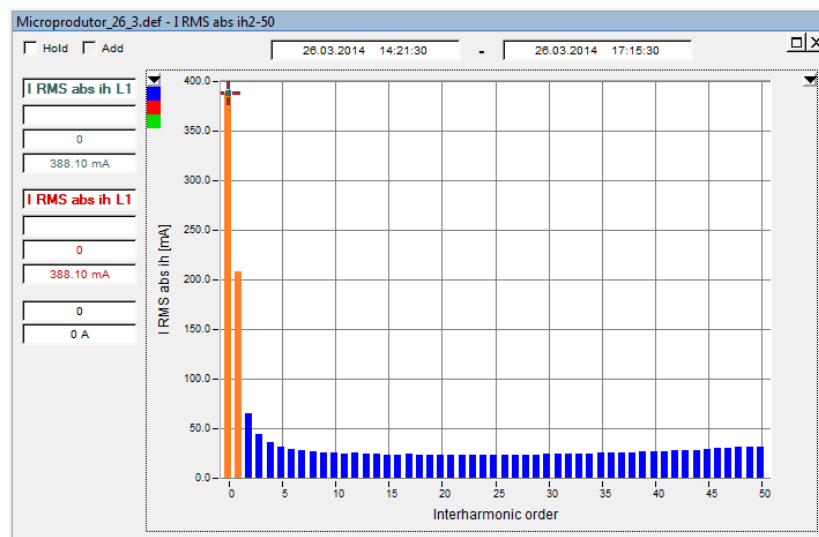
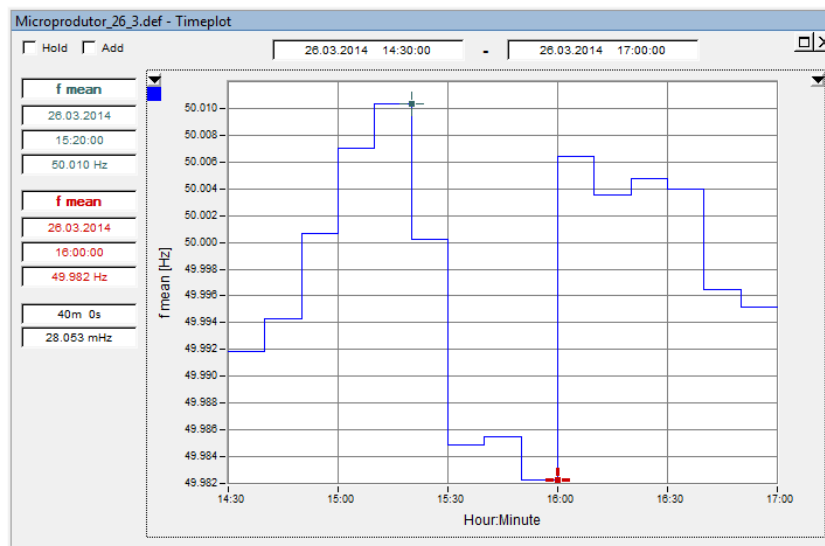


Figura 19 Inter-harmónicas de corrente presentes no sinal, em valor absoluto.

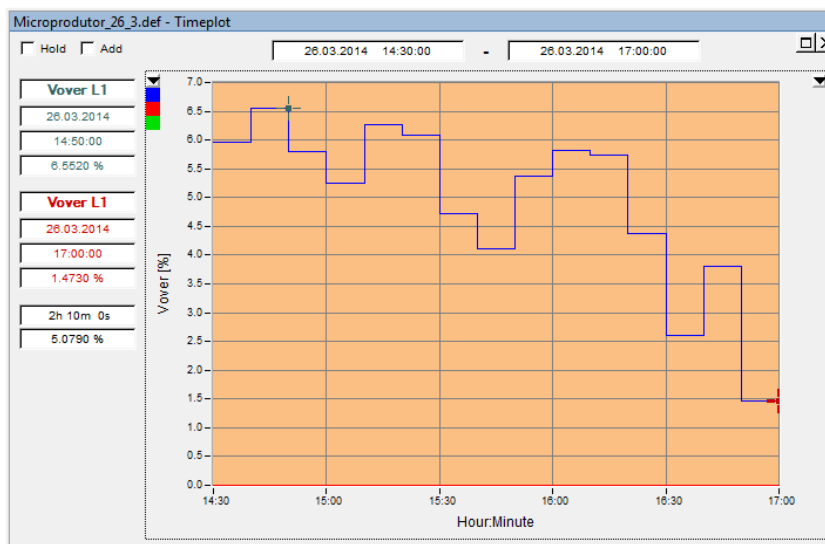
Segundo a norma NP EN 50160, que define para sistemas com ligação síncrona a um sistema interligado, a frequência pode oscilar 1% durante 99,5% do tempo durante um ano, o que significa que a frequência tem forçosamente de se encontrar entre os 49,5 e os 50,5 Hz. Em caso algum, a frequência pode exceder os 52 Hz ou reduzir a baixo dos 47 Hz.

Durante as quase 3 horas de leituras não existiu qualquer transgressão a estes limites, tendo a frequência máxima atingido 50.038 Hz e a frequência mínima 49.957 Hz.



**Figura 20** Variação da frequência em períodos médios de 10 minutos.

Ao fazer a análise do gráfico das sobretensões é possível constatar que estas se mantiveram quase sempre acima dos 2 %, tendo unicamente atingido o valor 0 quando as pontas de prova foram desligadas. Como já era de esperar, verifica-se um decréscimo da sobretensão á medida que há uma diminuição da radiação solar que incide sobre o painel e que origina a uma diminuição da produção.



**Figura 21** Sobretensões medidas em períodos médios de 10 minutos.

Analisando numa perspectiva de valor absoluto vê-se um decréscimo substancial na fase final da leitura, tal como seria de esperar.

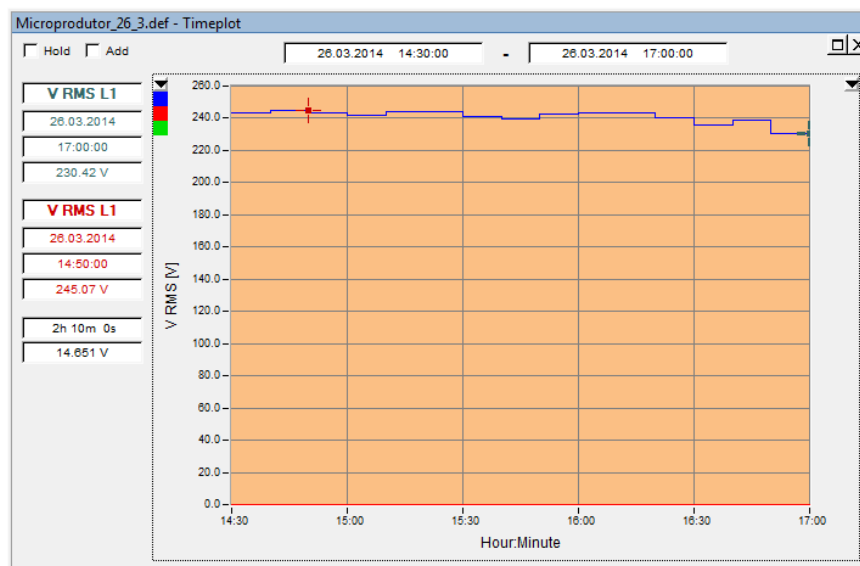


Figura 22 Tensão RMS medida em períodos médios de 10 minutos.

### 5.3. Resultados da segunda simulação

Com o objetivo de conhecer o comportamento da forma de onda de tensão, neste mesmo microprodutor sobre condições que fossem praticamente ideais, foi feita uma leitura em Abril durante o período compreendido entre as 11 horas e as 13:30, período definido pelo sítio europeu como sendo o que maior radiação recebe esta região, assumindo condições meteorológicas constantes.

Time	DNI	$DNI_c$
08:37	431	911
08:52	438	927
09:07	445	941
09:22	451	954
09:37	456	965
09:52	460	974
10:07	464	982

Time	DNI	$DNI_c$
10:22	467	989
10:37	470	995
10:52	472	999
11:07	474	1000
11:22	475	1010
11:37	476	1010
11:52	477	1010

Time	DNI	$DNI_c$
12:07	477	1010
12:22	476	1010
12:37	475	1010
12:52	474	1000
13:07	472	999
13:22	470	995
13:37	467	989

Time	DNI	$DNI_c$
13:52	464	982
14:07	460	974
14:22	456	965
14:37	451	954
14:52	445	941
15:07	438	927
15:22	431	911

Figura 23 Informação relativa á radiação incidente, em Abril [51].

Os valores de frequência encontram-se dentro da normalidade apresentando oscilações quase imperceptíveis.

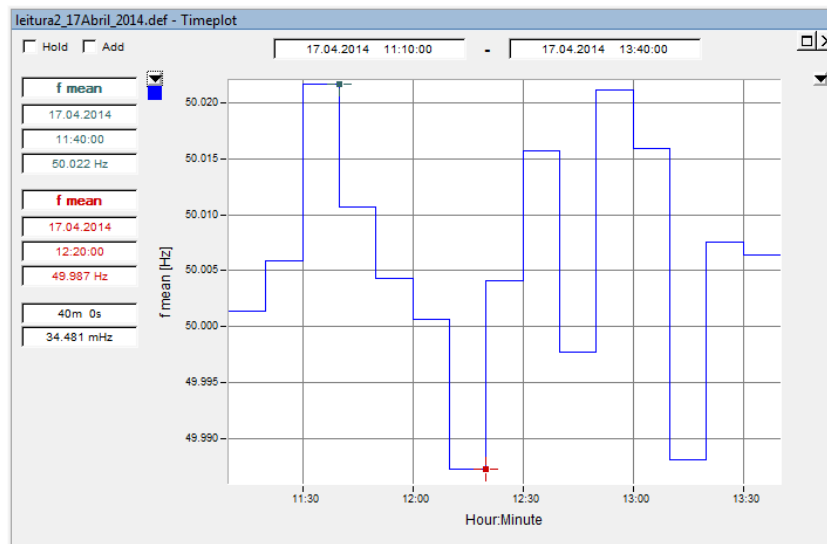


Figura 24 Variação da frequência em períodos médios de 10 minutos.

Nesta leitura volta-se a constatar a presença de sobretensões que, como já foi referido anteriormente, é normal neste tipo de instalações. A oscilação de quase 2% sentida próxima das 12 horas deveu-se muito provavelmente a equipamentos que foram desligados na rede durante o período de almoço e que fizeram com que o valor de tensão aumentasse subitamente.

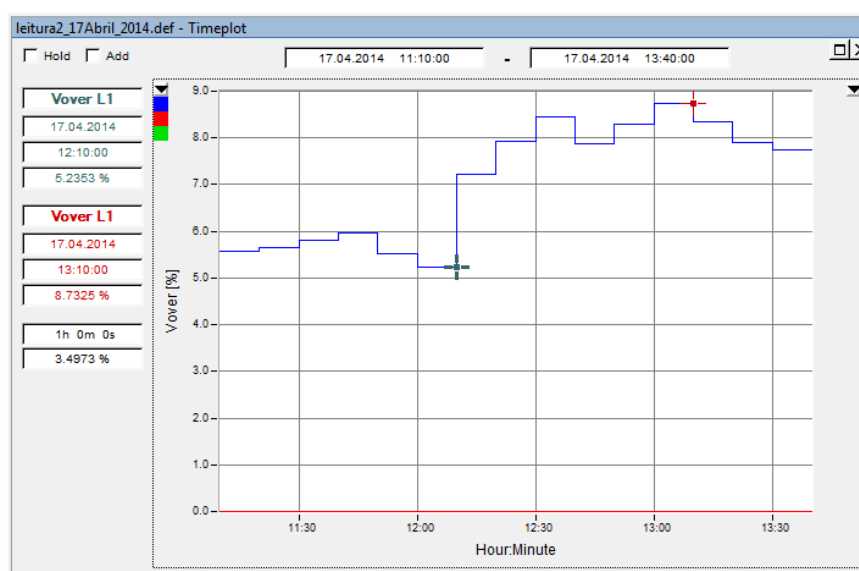
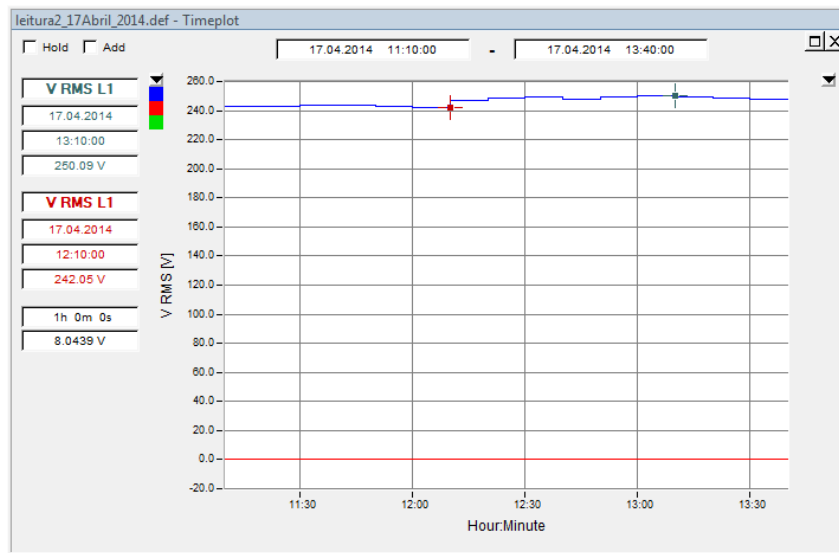


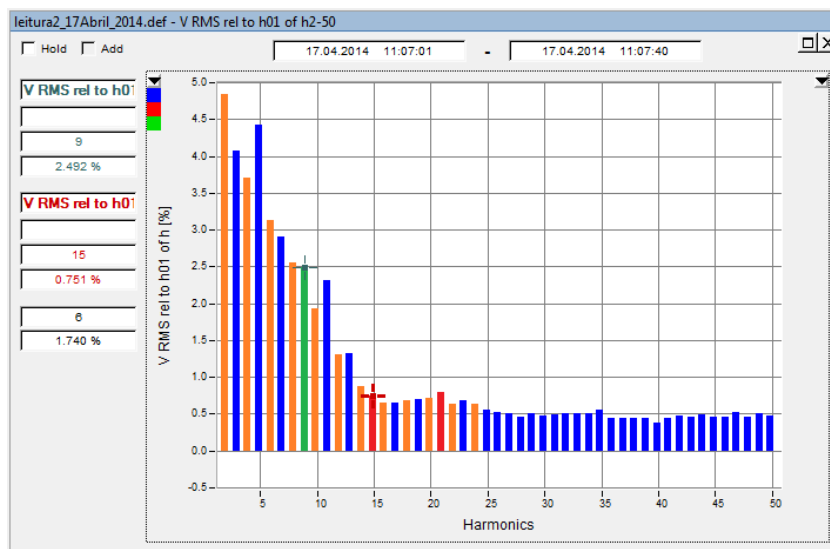
Figura 25 Sobretensões medidas em períodos médios de 10 minutos.

Os valores de tensão em valor absoluto, naturalmente, acompanham o valor percentual das sobretensões.



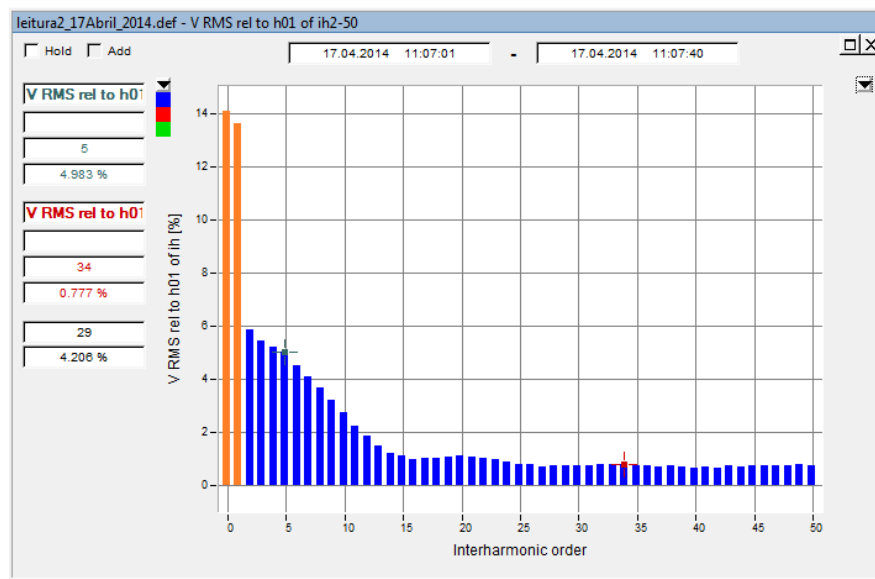
**Figura 26 Tensão RMS medida em períodos médios de 10 minutos.**

Este gráfico analisa quase 40 segundos da leitura na qual é possível constatar diversas violações do valor limite de cada harmónica, em nível percentual.



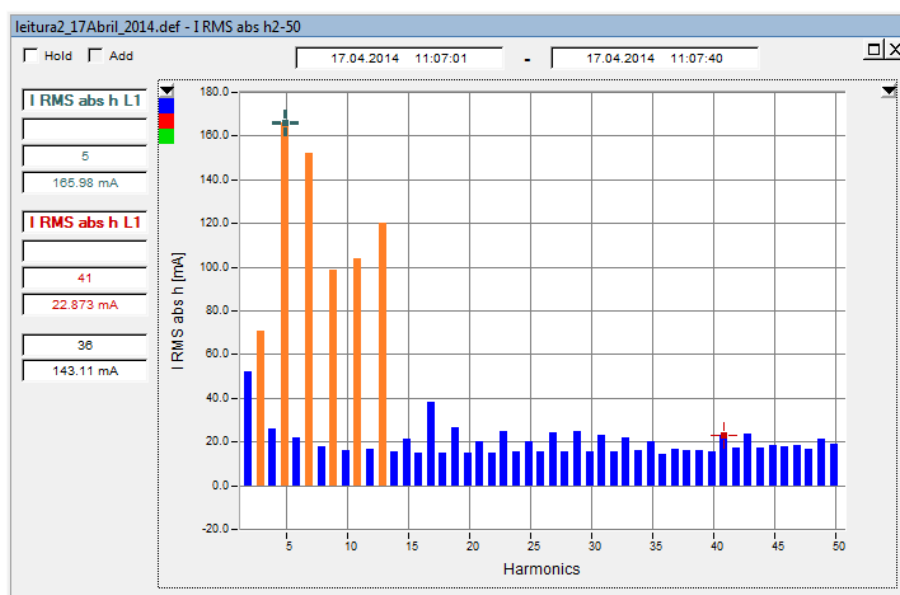
**Figura 27 Harmónicas de tensão presentes no sinal, em percentagem.**

Ainda para este instante, as inter-harmônicas de tensão são especialmente problemáticas ao nível da componente fundamental e ao nível da primeira harmónica.



**Figura 28 Inter-Harmônicas de tensão presentes no sinal, em percentagem.**

Ainda para o instante considerado, as harmônicas de corrente são seriamente influenciadas pelo valor da 3ª, 5ª, 7ª, 9ª e 11ª ordem.



**Figura 29 Harmônicas de corrente presentes no sinal, em valor absoluto.**

No caso das inter-harmónicas de corrente, esses problemas resumem-se á ação da componente fundamental e da primeira harmónica.

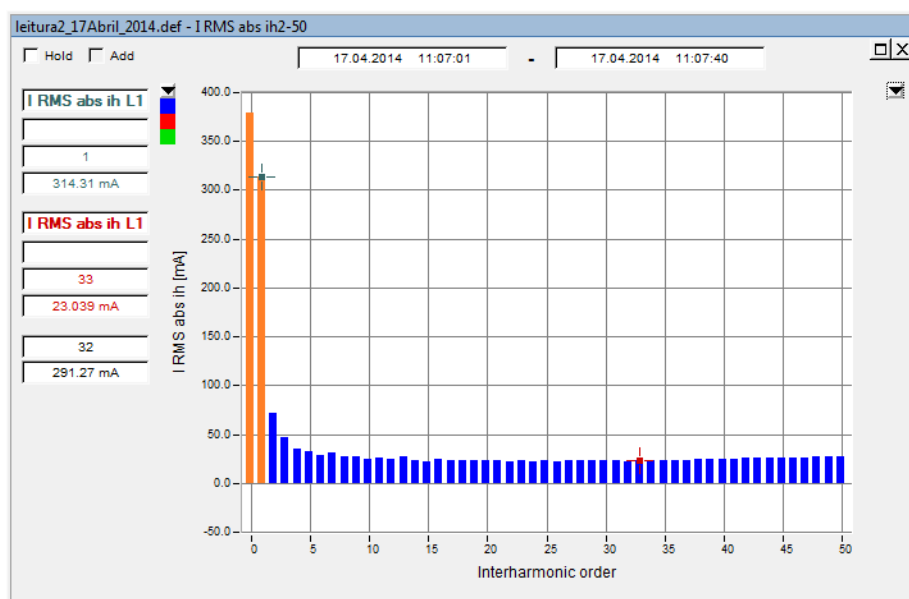


Figura 30 Inter-harmónicas de corrente presentes no sinal, em valor absoluto.

Embora a componente harmónica viole os limites máximos estabelecidos na norma, esses limites não se fazem sentir durante o período de 10 minutos, em 95% do tempo de uma semana.

Events - Table							
File Edit Graphs							
<input type="checkbox"/> Hold							
Start		End		Difference			
17.04.2014 11:04:44		17.04.2014 13:44:39		2h 39m 56s			
	Type	Source	Start	Duration	Extr. Value	F	
1	THD	V L1	17.04.2014 13:44:36,247633	200,00ms	81,08 [%]	!	
2	THD	V L1	17.04.2014 11:07:07,690223	203,64ms	8,809 [%]	!	
3	THD	V L1	17.04.2014 11:07:33,473347	199,95ms	8,799 [%]	!	
4	THD	V L1	17.04.2014 13:44:17,847532	199,98ms	11,25 [%]	!	
5	THD	V L1	17.04.2014 11:07:04,490975	199,98ms	36,3 [%]	!	

Figura 31 Eventos de DHT.

## 5.4. Resultados da terceira simulação

Nesta terceira leitura foram feitas análises á forma de onda com o MP ligado e desligado da rede de distribuição, por forma a que fosse possível comparar as duas formas de onda em situações distintas e que são pertinentes para o trabalho em questão.

Analisando o valor absoluto da tensão verifica-se que esta varia consoante o MP entra ou sai de produção.

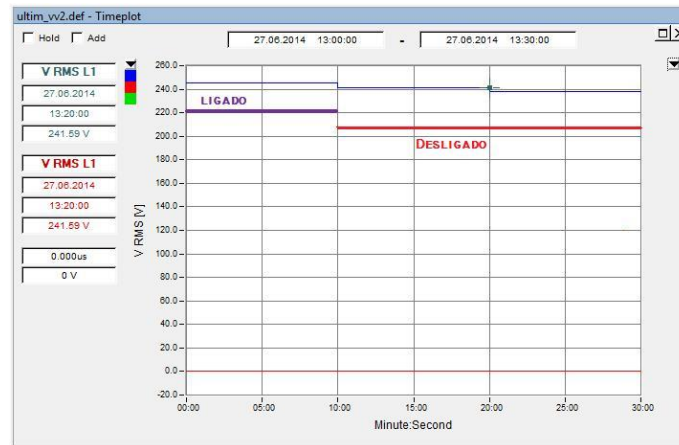


Figura 32 Valores de tensão RMS.

Dado que o inversor é o grande responsável pela injeção de componentes harmónicas, e que só é ativado quando o MP está em produção, é possível observar uma diminuição da componente harmónica no momento em que o MP sai de produção.

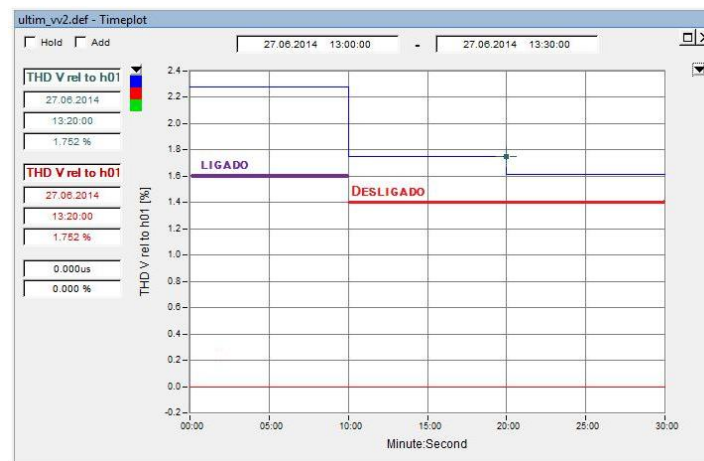


Figura 33 Distorção Harmónica Total, em valores médios de 5 minutos.

O mesmo se verificando com valores instantâneos.

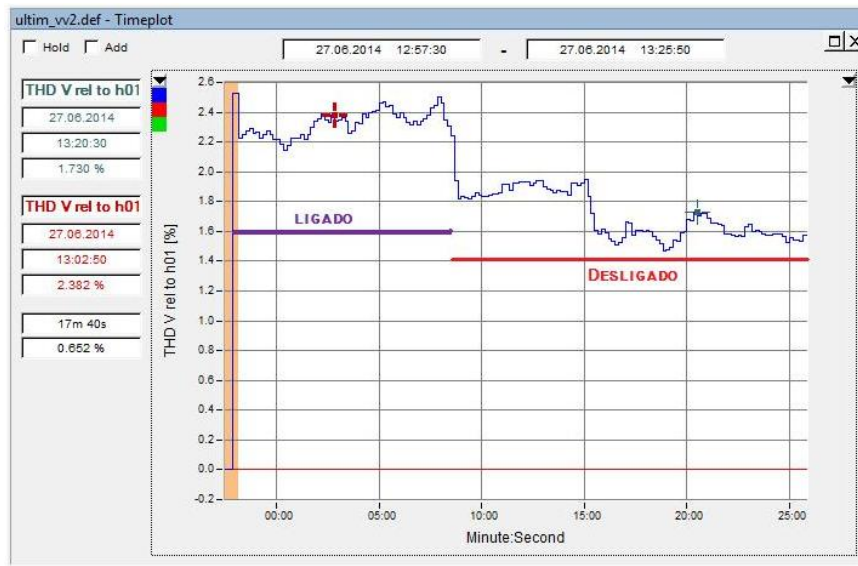


Figura 34 Distorção Harmónica Total, em valores instantâneos.

Tendo-se já verificado uma diminuição da tensão em valor absoluto, é normal assistir a uma diminuição das sobretensões no momento em que o MP sai de produção.

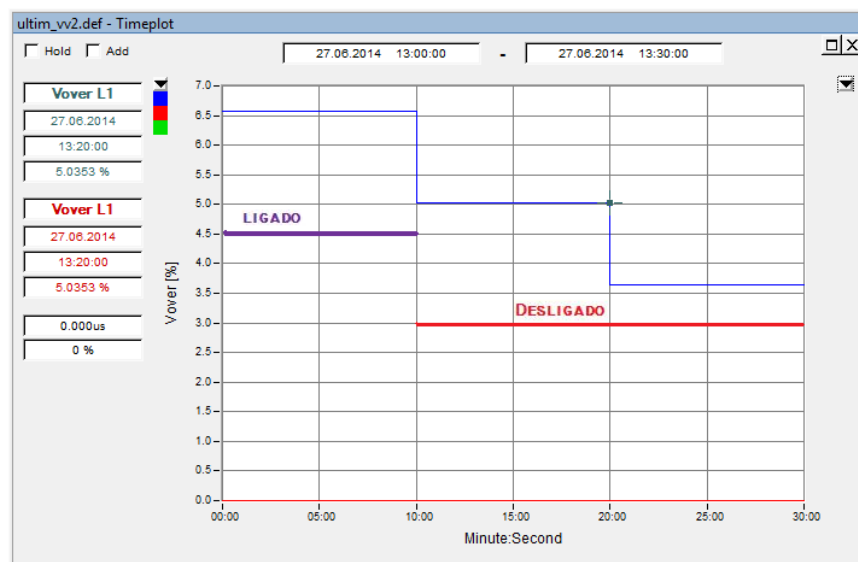


Figura 35 Sobretensões, em valores médios de 5 minutos.

Embora a diferença seja muito simbólica é possível também comprovar uma ligeira oscilação do valor da frequência.

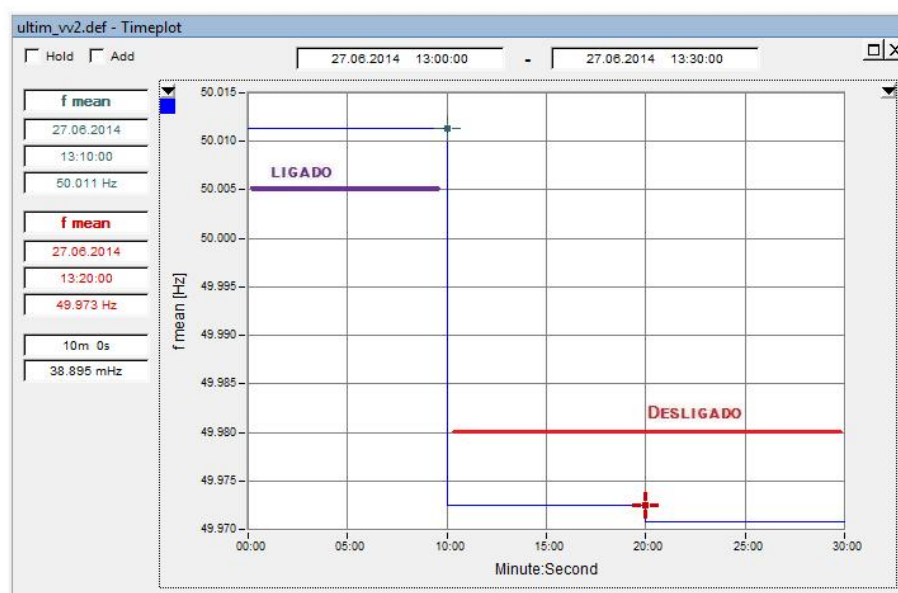


Figura 36 Valores de frequência em períodos médios de 5 minutos.

## 5.5. Conclusões

Este capítulo trata a parte experimental de toda a dissertação, que corresponde ao estágio realizado na EDP Distribuição de Braga. Apresenta-se os resultados obtidos através de gráficos e de medições que foram efetuadas para diferentes casos, entre os quais a análise da forma de onda da tensão numa situação de máxima radiação. Também se apresenta no caso da diminuição gradual da radiação, onde é possível verificar uma redução do número de problemas inerentes á microprodução. Durante a análise que é efetuada são consideradas as sobretensões, as componentes harmónicas da tensão e de corrente, assim como a própria frequência. No final, é feita uma comparação do que se verifica na forma de onda quando o MP está ligado e quando está desligado, sendo possível concluir que existe uma relação direta entre a deterioração da forma de onda e a microprodução. Durante uma das recolhas foi possível assistir a uma ocorrência na rede, de origem desconhecida, verificando-se uma forte distorção hamónica durante um periodo de 40 segundos, que em nada esteve relacionado com a microprodução. Este facto permite

demonstrar que existem outros casos, por vezes de origem desconhecida, que têm um impacto na distorção da forma de onda bem mais grave do que os originados pela microprodução.

## 6. Conclusões

A microprodução é, efetivamente, um modo de produção de energia que apesar de já existir há alguns anos, só hoje em dia começa a tomar valores significativos. Como habitualmente acontece nestes casos, apenas quando uma tecnologia atinge este nível é possível saber qual o seu verdadeiro impacto, uma vez que a realidade envolve um conjunto de condições e restrições mais extensas do que simples simulações feitas em laboratório. Para o utilizador comum, um problema só existe quando é visível, logo, é normal que ao ver o seu sistema impedido de entrar em produção, alerte a EDP relativamente ao problema, ou seja, o cliente, em condições normais, dificilmente apresentará queixa devido a um problema que existe, mas que desconhece a consequência. Por seu lado, a EDP tem dificuldade em controlar os valores de tensão e a forma de onda nos milhões de clientes espalhados pelo país, dando prioridade a situações bem mais graves e que por diversas vezes necessitam de uma rápida intervenção. Neste sentido, e apesar de as sobretensões não serem o tema central desta dissertação, é inevitável abordar este tópico, uma vez que praticamente todos os problemas relativos à microprodução, com os quais a EDP se depara diariamente, têm como consequência este problema. Nestes casos, e quase sempre, a solução passa por baixar uma tomada do transformador de forma a que o MP não seja posto fora de produção. Ainda assim, esta solução não resolve totalmente os interesses da empresa na eventualidade de os MP se localizarem em zonas de consumos baixos ou inexistentes. Uma solução possível para esses casos passaria pela

instalação de condensadores ou indutores, dependendo se a rede é mais capacitiva ou mais indutiva, de forma a aproximar o valor de FP o mais possível do valor unitário estabilizando os níveis de tensão. Desta forma, ainda que a energia ativa injetada seja demasiado elevada, esta seria incapaz de desregular a frequência da rede, dado que o operador central Europeu, que controla a frequência na rede Europeia, é demasiado rigoroso para permitir um desregulação da frequência provocada por toda a microprodução injetada na rede. Ainda que me pareça impossível que algum dia a microprodução atinja uma presença na rede Europeia capaz de perturbar a frequência, acredito que por essa altura, caso tal aconteça, existirão sistemas de armazenamento a preços mais acessíveis e com uma capacidade bem superior à atual, capazes de auxiliar o sistema central de forma a que a produção vá de encontro ao consumo.

Após a análise dos resultados obtidos neste trabalho, é possível concluir que a produção de energia elétrica a partir da microprodução induz perturbações na forma de onda de tensão, fundamentalmente resultante da ação do inversor. Essa perturbação traduz-se numa oscilação ínfima do valor da frequência, bem como um aumento da DHT quando o sistema está em produção. Foi igualmente possível verificar que em dias de forte radiação algumas componentes harmónicas podem, por breves instantes, ultrapassar os valores limite estipulados, embora respeitando sempre os limites quanto à sua duração. Não obstante ter existido vontade de apresentar outras conclusões para este trabalho, existiram várias limitações que o impediram, tais como: a autorização limitada para a utilização do Fluke (dado existirem outras prioridades para a empresa), as questões de ordem climatérica, o facto de não poder cortar a produção do MP para a realização dos testes sempre que se pertende e, naturalmente, o facto de haver exclusivamente um equipamento de medição. Estes últimos acabariam por constituir os maiores obstáculos face aos resultados alcançados, dado que um único aparelho Fluke nem sempre é suficiente, pois existem momentos em que o trânsito de energia muda o sentido, e nesse momento a maneira como a rede se comporta muda claramente. Nessas alturas seria necessário ter mais aparelhos Fluke para poder efetuar medições à saída do PT e na casa dos próprios clientes que se encontrem a serem alimentados pela mesma linha. Já a impossibilidade de cortar livremente a microprodução impede a comparação da forma de onda de tensão com e sem a produção.

Ainda que a curto prazo se verifique uma diminuição no número de novos microprodutores e conseqüente redução das tarifas nos vários regimes, a realidade é que a longo prazo se prevê uma proliferação destes sistemas, que passarão a exercer maior influência sobre a rede. Se a esta condição se aliar o facto da procura da população por equipamentos que são cada vez mais exigentes, e que obrigam a um maior esforço por parte do setor energético para que a qualidade da energia elétrica seja superior, é fundamental uma política rigorosa de controlo da qualidade de energia elétrica, que poderá passar pela necessidade de introdução de sistemas de filtragem de componentes harmónicas, quer ao nível das subestações da rede de distribuição, quer ao nível dos próprios consumidores.

Este trabalho ainda poderá continuar se houver a possibilidade de obter pelo menos mais um aparelho analisador para incorporar no caso em análise, de maneira a que possam ser considerados os trânsitos de energia na rede, ou seja, realizar medições simultâneas tanto á saída do MP como do PT, sendo medidas as correntes nas linhas em simultâneo, de forma a perceber em que sentido estas circulam. Deste modo, seria possível conhecer com maior precisão qual o impacto de cada “infractor”, uma vez que os próprios consumidores e os próprios produtores são também responsáveis pela injeção de componentes harmónicas na rede. Embora se conclua através do presente caso de estudo que a MP tem influencia direta sobre a qualidade da energia que circula na rede, desconhece-se qual o seu grau de impacto na degradação da qualidade da onda de tensão disponível na rede. Numa situação ideal, deveriam ser instalados analisadores em todos os MP e em todos os clientes.

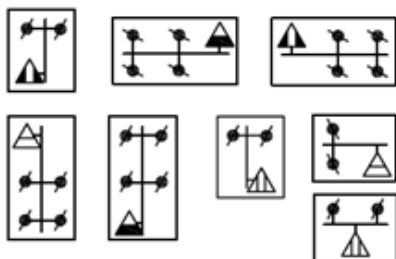
## Referências Documentais

- [1] Diário da República - Dec. 118-A/2010, 25 Outubro de 2010
- [2] MIT, *Massachusetts Institute of Technology - The future of the Electric Grid*, 2011
- [3] PORDATA – Base de Dados de Portugal Contemporâneo: [www.pordata.pt](http://www.pordata.pt)
- [4] REN, Redes Energéticas Nacionais - Caracterização da Rede Nacional de Transporte para efeitos de acesso á rede a 31 de Dezembro de 2013
- [5] Caraterização da Rede Nacional de Transporte para efeito de Acesso á Rede – REN, 2012
- [6] Nota Explicativa da Informação sobre Produção em Regime Especial - ERSE, 2009
- [7] COGEN Portugal - <http://www.cogenportugal.com>
- [8] NSolartek Energias Renováveis Lda.: <http://www.nsolartek.pt/>
- [9] ERSE, Informação sobre a produção em regime especial (PRE)\* Portugal Continental em Janeiro de 2014
- [10] DGEG Renováveis estatísticas rápidas em Dezembro de 2013: [www.dgeg.pt](http://www.dgeg.pt)
- [11] Jornal Público, 17 Janeiro de 2014
- [12] EDP Produção – Eletricidade de Portugal Produção: [www.edp.pt](http://www.edp.pt)
- [13] DGEG, Despacho nº 2/2014
- [14] Laboratório Nacional de Energia e Geologia: [www.lneg.pt](http://www.lneg.pt)
- [15] Empresa Geral de Fomento, S.A. : [www.egf.pt](http://www.egf.pt)
- [16] World Ocean Review: [www.worldoceanreview.com](http://www.worldoceanreview.com)
- [17] AMPER CENTRAL SOLAR, SA: [www.accion-energia.es](http://www.accion-energia.es)
- [18] DGEG, Despacho de 26 de Dezembro de 2013
- [19] EDP Microgeração: [www.microgeracaoedp.com](http://www.microgeracaoedp.com)
- [20] A. Hinkrichs, Roger - Energia e Meio Ambiente
- [21] DGEG- Sistema de Registo de Microprodução e miniprodução
- [22] Loja virtual da HCF Portugal: [hcfportugal.com](http://hcfportugal.com)
- [23] Loja virtual da SELM "Sistemas e Microeletrónica" [www.selm.pt](http://www.selm.pt)
- [24] Valdelamar, Jacobo Hernández - Fundación Arturo Rosenblueth - <http://pt.scribd.com/doc/15117609/El-mundo-de-los-sistemas-SCADA>
- [25] Empresa ETAP *Electrical Transient Analyser Program*: [www.etap.com](http://www.etap.com)
- [26] Gomes, Nuno Bastos – Sistemas de Conversão de Energia – ISEP
- [27] Wood, Allen; Wollenberg, Bruce; Sheble, Gerald - Power generation operation and control
- [28] ERSE, Manual do Procedimento do Gestor de Sistema Elétrico Português
- [29] ERSE, Zonas Geográficas de Qualidade de Serviço

- [30] Dugan, Roger; Santoso, Surya; McGranaghan, Mark; Wayne Beaty - Electrical Power Systems Quality
- [31] Meira, Vitor – EDP Distribuição
- [32] Schneider Eletric, Workshop Instalações Eléctricas de Baixa Tensão
- [33] Carvalho, José Beleza – Sistemas Eléctricos de Energia – ISEP
- [34] Rodrigues de Carvalho, Janison – Estimação de Harmónicos/Inter-Harmónicos: Uma Abordagem Multitaxa
- [35] PROCOBRE, Harmónicas nas Instalações Eléctricas
- [36] Ciclo palestra Ordem Engenheiros - O impacto dos problemas de qualidade da energia em instalações eléctricas, 2001
- [37] Choi, S.S.; Li, B.H.; Vilathgamuwa, D.M. - Design and Analysis of the Inverter-Side Filter Used in the Dynamic Voltage Restorer”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 17, nº 3, Julho de 2002
- [38] Godsk Nielsen, John; Newman, Michael; Nielsen, Hans; Blaabjerg, Frede - Control and Testing of a Dynamic Voltage Restorer (DVR) at Medium Voltage Level, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, nº 3, Maio de 2004
- [39] Norma Portuguesa - EN 50160
- [40] Paiva, José Pedro – Redes de Energia Eléctrica. Instituto Superior Técnico, 2005
- [41] U.S.A. Department of Commerce International Trade Administration - Electric Current Abroad, 1998
- [42] REN, Redes Energéticas Nacionais: [www.ren.pt](http://www.ren.pt)
- [43] *The Alternative Energy eMagazine*: [www.alternenergymag.com](http://www.alternenergymag.com), Abril de 2009
- [44] EDP distribuição : [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt)
- [45] Plano de desenvolvimento e Investimento da Rede de Distribuição, 2009-2011
- [46] Carvalho, José - EDP Distribuição
- [47] Campos Dias, António – EDP Distribuição
- [48] World Economic Forum: [www.weforum.org](http://www.weforum.org)
- [49] *U.S.A. Department of Energy - Smart Grid Report*, Julho de 2009
- [50] *Fluke 1760 Power Quality Recorder - Users Manual*
- [51] *Photovoltaic Geographical Information System*: [re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#)

# Anexo A. 1

## Postos seccionamento da rede subterrânea



Extremidade não ligada

Rio Lima

Linha cruza C. Ferro

Linha AT cruza com MT

Indicação de Auto-Estrada

Linha Subterrânea

**Doente** Cliente Necessidade especial

— PT AS ou AI da EDP (c/para-raios a montante do seccionador)

— PT AS ou AI Cliente (c/para-raios a montante do seccionador)

— PT cabine alta da EDP      — PT cabine baixa da EDP

— PT cabine alta Cliente      — PT cabine baixa Cliente

**▲ PTD não identificado quanto ao Tipo Construtivo**

**△ PTC não identificado quanto ao Tipo Construtivo**

### Identificação do Posto

XXX 0000  
FFFF  
LLLL

XXX — Sigla do Concelho  
0000 — Numero de Posto  
FFFF — Freguesia  
LLLL — Lugar

AAAAAAAAA  
AAAAAAAAA  
AAAAAAAAA — Identificação Interligações

— TR Para IAR

— Arcos abertos

— Apoio ou ponto de ligação

— Caixa terminal

— Para-raios

— Seccionador

— Interruptor

— Subestacao da EDP

— Central hidroelectrica

— Central Eólica

IAT-234  
 OCR

## Anexo B. 1

# Manual do Analisador de Qualidade

## Fluke 1760



# Índice

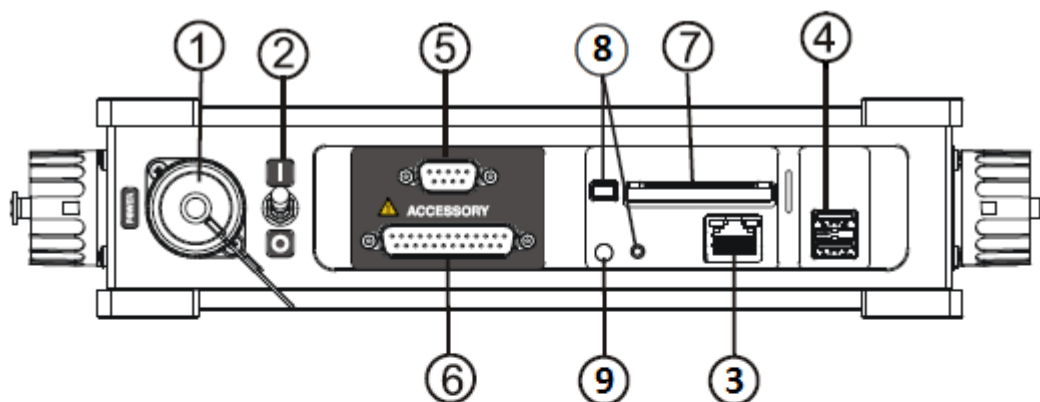
<b>1. PRIMEIRO PASSO - COMO INSTALAR O PQ ANALYSE? .....</b>	<b>3</b>
1.1. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO .....	3
1.2. LEITURAS INSTANTANEAS REALIZADAS NO LOCA .....	4
1.4. PROGRAMAÇÃO DO EQUIPAMENTO .....	6
2.1. INSTALAR O EQUIPAMENTO NO TERRENO .....	9
2.2. EXTRAIR OS DADOS DO FLUKE PARA O COMPUTADOR .....	10
<b>3. ANÁLISE DOS DADOS .....</b>	<b>13</b>
3.1. MODO AVANÇADO .....	14
3.2. MODO SIMPLES .....	16
<b>4. LISTAGEM DO EQUIPAMENTO QUE ACOMPANHA O FLUKE .....</b>	<b>19</b>



### Primeiro Passo - Como instalar o software PQ Analyse?

1. Inserir o CD no leitor do portátil ou do computador;
2. Caso o menu de opções não seja mostrado no ecrã, (Abra o menu INICIAR, Escolha Computador e abra a “pasta” do leitor onde se encontra o CD. Em seguida, abra o ficheiro launch.exe);
3. Na nova janela, no menu “Power Quality Recorder” escolha “Install PQ Analyse software”;
4. Siga as instruções até ao fim do processo (Premindo “Next”, “Continue”).
5. **AVISO:** No caso de tentar instalar o programa num computador da rede EDP, poderá ter de contactar um administrador de rede para obter permissão para o fazer. Posteriormente, tendo terminado a instalação e caso o programa não inicie, deve reiniciar o seu computador a fim de resolver o problema.

### Descrição do equipamento

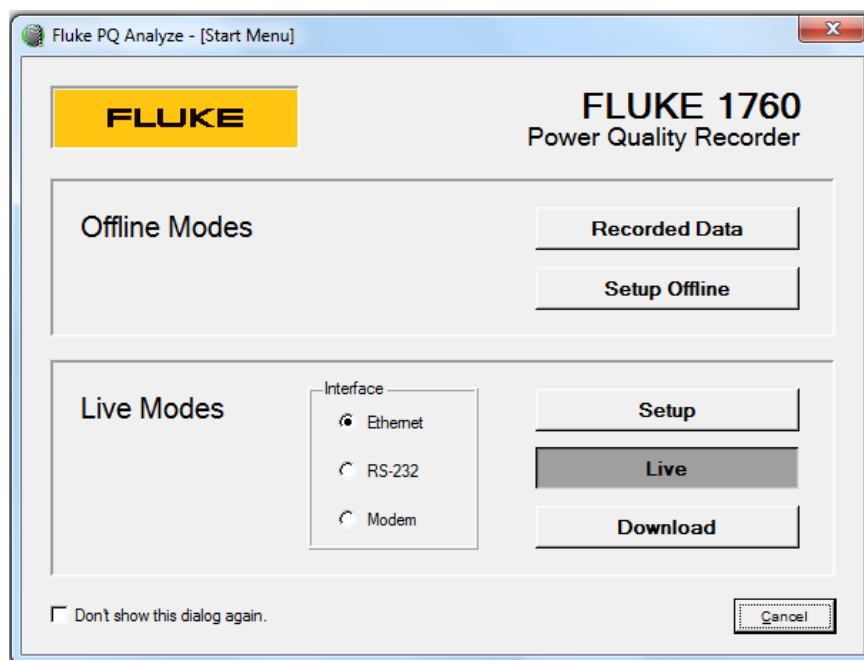


No.	
1	Entrada Cabo de Alimentação
2	Interruptor principal
3	Entrada Cabo Ethernet
4	Conectores USB (tipo A)
5	Porta Série (RS 232)
6	Outros conectores (GPS, DCF 77, Alarmes, Etc..)
7	Entrada para Cartão Flash
8	Botão de ejetar e LED do Cartão Flash
9	Botão "Reset" (usar em caso de bloqueio)

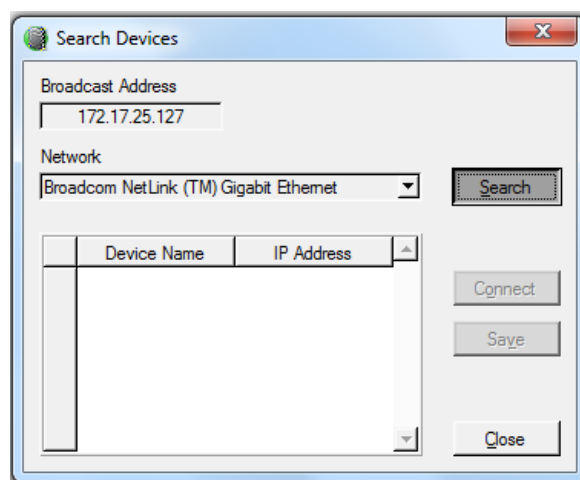
## Leituras instantâneas realizadas no local

Apesar de o Fluke não ter um monitor incorporado, é efetivamente possível analisar no próprio local, a forma de onda do sinal, com a ajuda de um computador portátil. Ficando essa operação limitada à análise das características básicas como a forma de onda de tensão e de corrente, para isso:

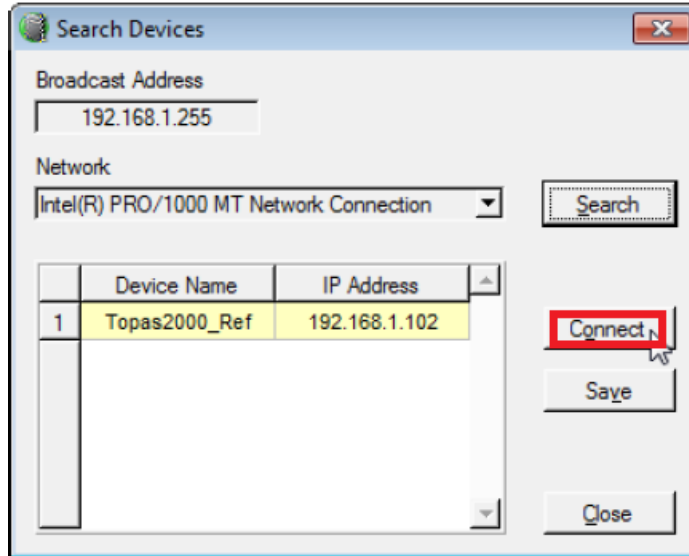
1. Ligar o cabo de alimentação de 230 Volts (Fluke - Tomada)
2. Ligar o interruptor existente no Fluke (ON)
3. Conectar o cabo de transmissão de dados (Computador- Fluke)
4. Abrir o programa PQ Analyse.
5. Selecione o modo "Live".



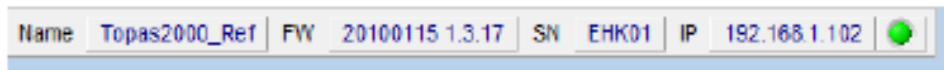
6. Clique em "Search".



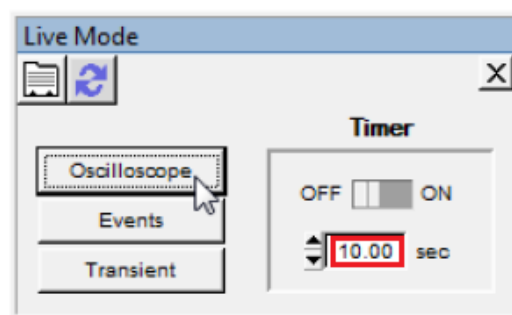
7. Escolha o nome do equipamento e pressione em “connect”.



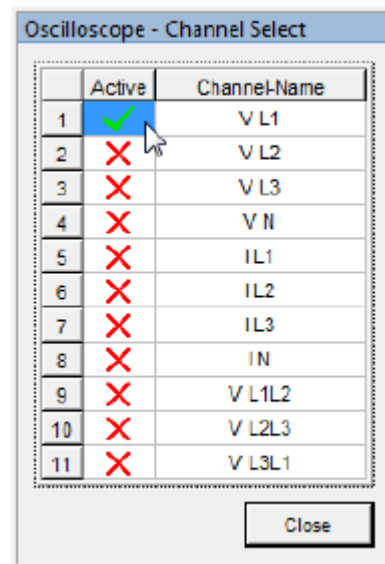
8. Verifique se o equipamento ficou corretamente conectado, estando o LED verde presente na barra inferior do lado direito.



9. Quando a janela “Live mode” abrir, pressione “Oscilloscope”. Caso pretenda mudar a frequência com que o gráfico é atualizado, altere o valor dos 10 segundos.



10. Active o canal 1.



11. Seleccione “Time plot” e terá o seu gráfico pronto.

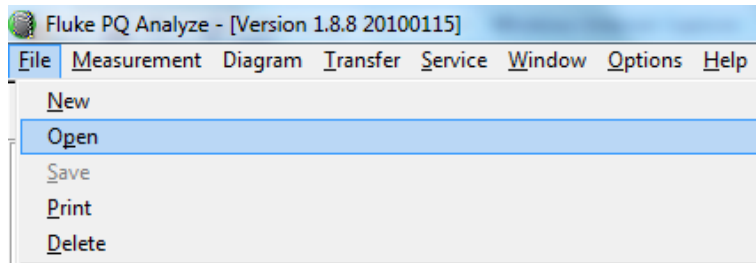
### **Programação do equipamento**

Antes de iniciar o processo de recolha de informação, junto do cliente ou produtor, é **obrigatório** programar o aparelho. Para tal, é necessário:

- ✓ Computador com software PQ Analyse instalado;
- ✓ Fluke 1760;
- ✓ Cabo Ethernet;
- ✓ Cabo de alimentação (Fluke – Tomada);
- ✓ Tomada de ligação (230 Volts).

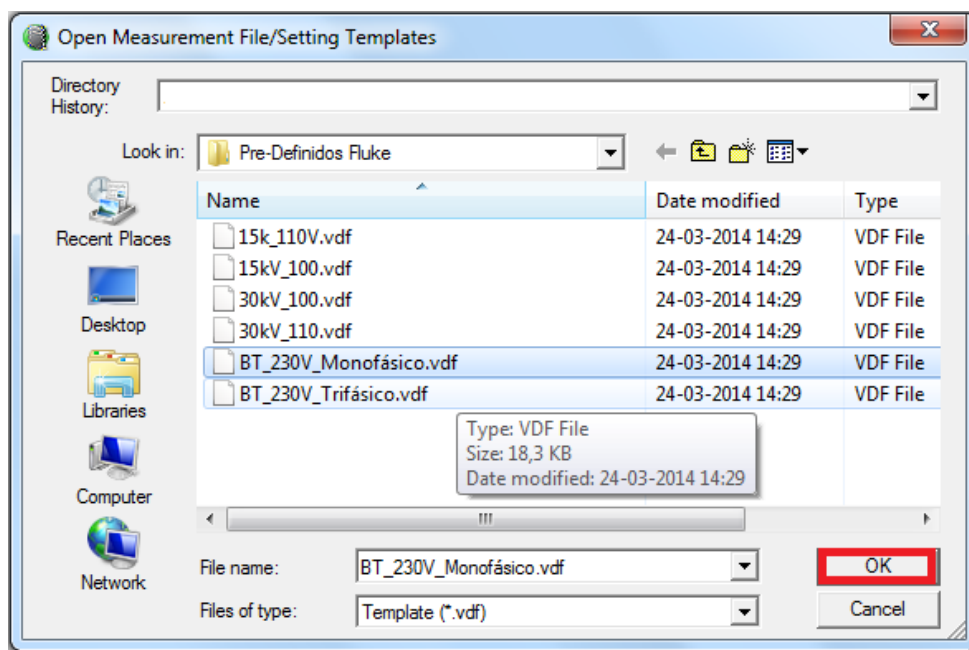
Uma vez reunido o equipamento, pode se dar início à programação do mesmo:

1. Ligar o cabo do Fluke à tomada de 230 Volts;
2. Ligar o interruptor do Fluke (ON);
3. Aguardar que as diversas luzes acendam (POWER, RECORDING DATA,...);
4. Ligar o computador e aceder ao software PQ Analyse;
5. Aceder ao menu “File” e seleccionar “Open”;

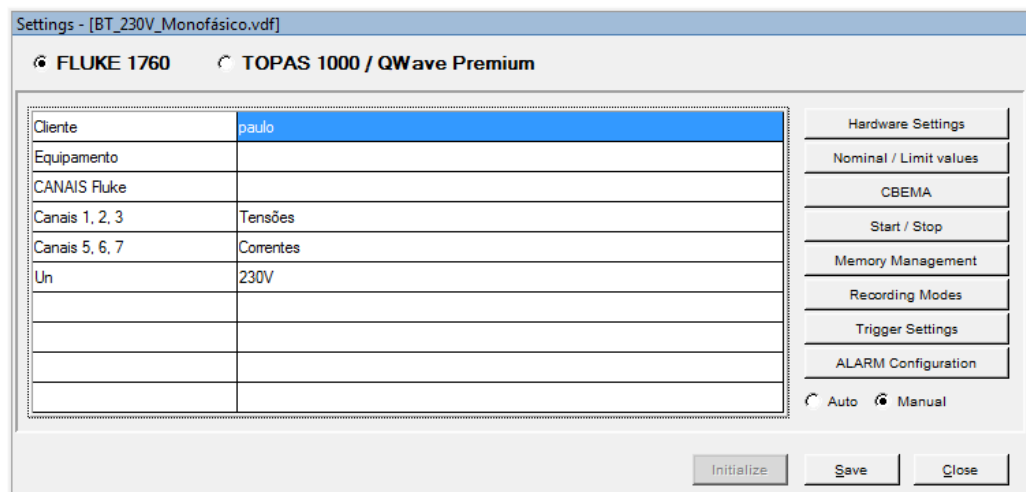


No ponto 6, é importante escolher corretamente o ficheiro predefinido com o qual se irá programar o aparelho. A escolha errada pode comprometer as leituras e, em casos extremos, danificar o aparelho.

6. Assim, selecione o tipo de cliente/produtor que irá visitar e clique em OK.



7. Na nova janela, defina o nome do cliente ou produtor.



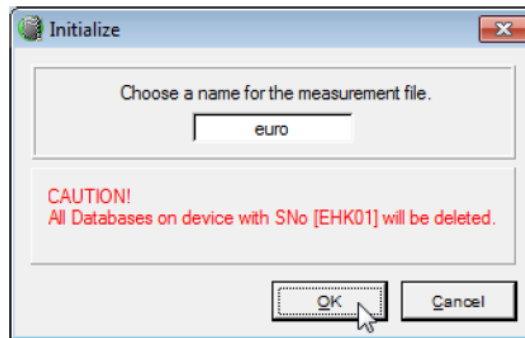
8. Confirme as “Hardware Settings”. Dado que escolhemos um cliente monofásico, basta termos o canal 1 e o canal 5 ativos. Para medir mais fases deve alterar o modo OFF, para U600. A “Range” define o valor máximo de leitura e o “scalling” define se a tensão é alternada ou contínua. **Prima OK. MUITO Importante:** Caso ative o canal 1 terá de ativar o canal 5 para medir correntes, **ativando o 2 tem de ativar o canal 6 e assim sucessivamente.**

	Quantity	Range	Scaling	
<b>CH 1</b>	VL1	U600	1.00000	<b>AC</b>
CH 2	VL2	OFF	1.00000	AC
CH 3	VL3	OFF	1.00000	AC
CH 4	VN	U600	1.00000	AC
<b>CH 5</b>	IL1	IAC1000	1.00000	AC
CH 6	IL2	OFF	1.00000	AC
CH 7	IL3	OFF	1.00000	AC
CH 8	IN	IAC1000	1.00000	AC

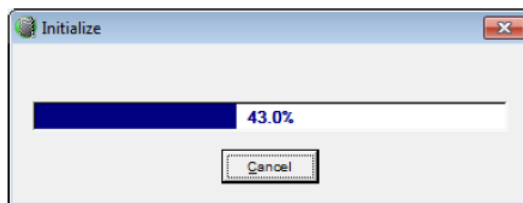
9. Prima “Initialize”.

Cliente	Novo Cliente
Equipamento	
CANAIS Fluke	
Canais 1, 2, 3	Tensões
Canais 5, 6, 7	Correntes
Un	230V

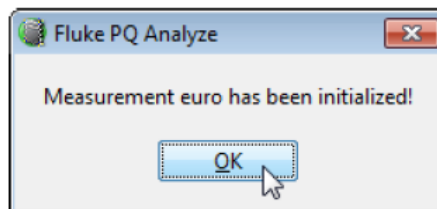
10. Defina o nome que quer dar ao ficheiro. Prima OK.



11. Aguarde que o ficheiro seja processado.



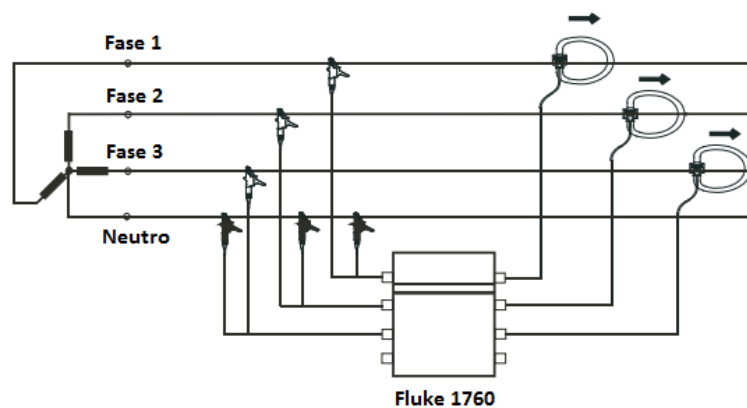
12. E que a janela de confirmação surja no ecrã.



13. Neste momento o equipamento está pronto para ser instalado no terreno!

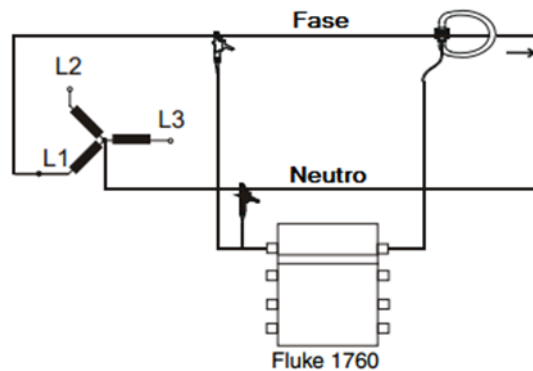
### Instalar o equipamento no terreno

1. No modo trifásico a ligação faz-se:



**Atenção:** Só pode utilizar os canais que escolheu durante a programação do equipamento!

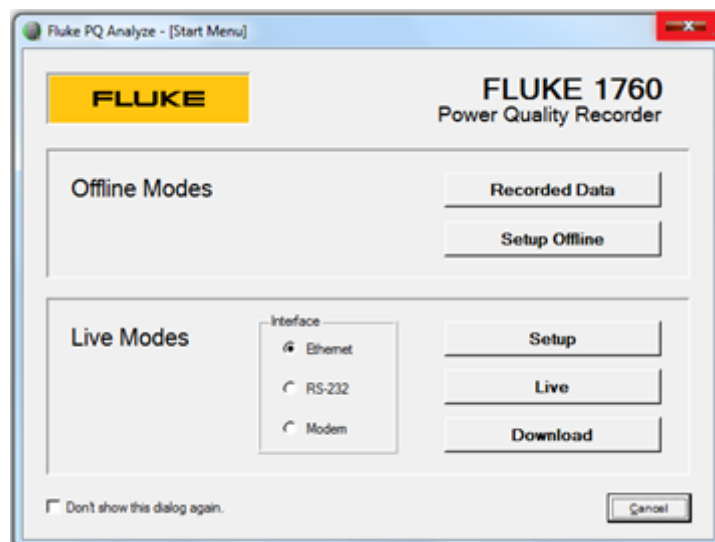
2. No modo monofásico a ligação faz-se:



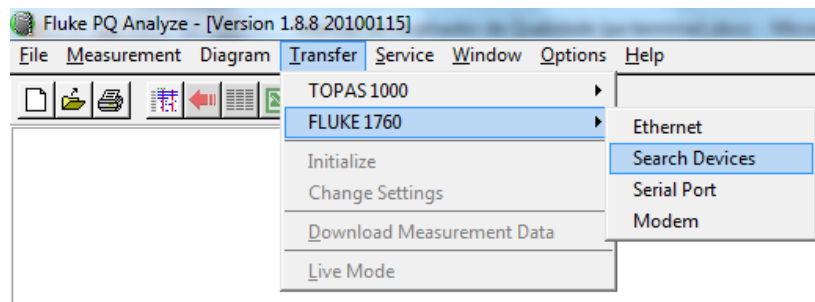
**Atenção:** Só pode utilizar os canais que escolheu durante a programação do equipamento!

### **Extrair os dados do Fluke para o computador**

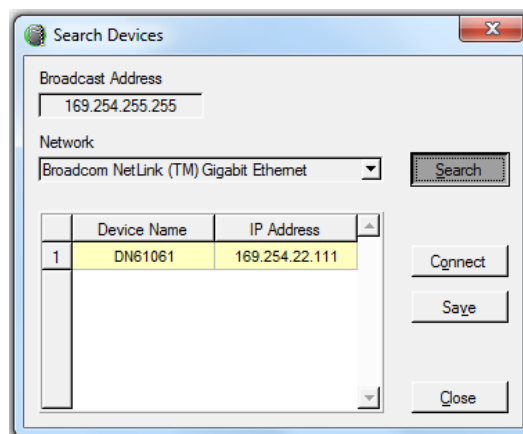
1. Ligar o cabo de alimentação de 230 Volts (Fluke - Tomada)
2. Ligar o interruptor existente no Fluke (ON)
3. Conectar o cabo de transmissão de dados (Computador- Fluke)
4. Abrir o programa PQ Analyse.
5. Fechar o “Menu Principal”.



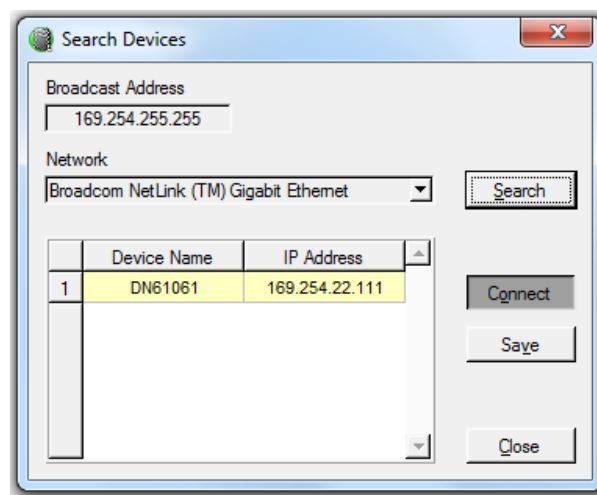
6. Na janela principal, selecionar “Transfer”, “Fluke 1760” e “Search Devices”



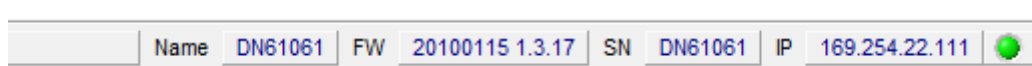
7. Clique em “Search”.



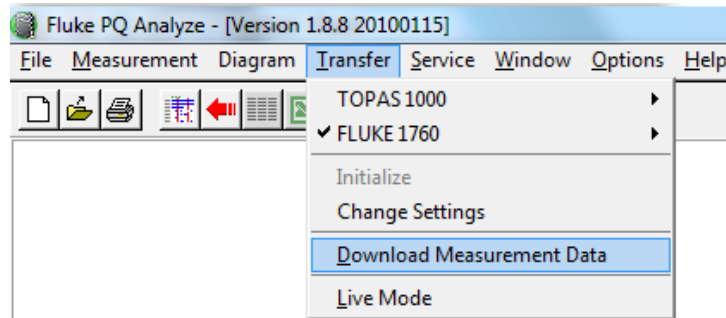
8. Em seguida “Connect”.



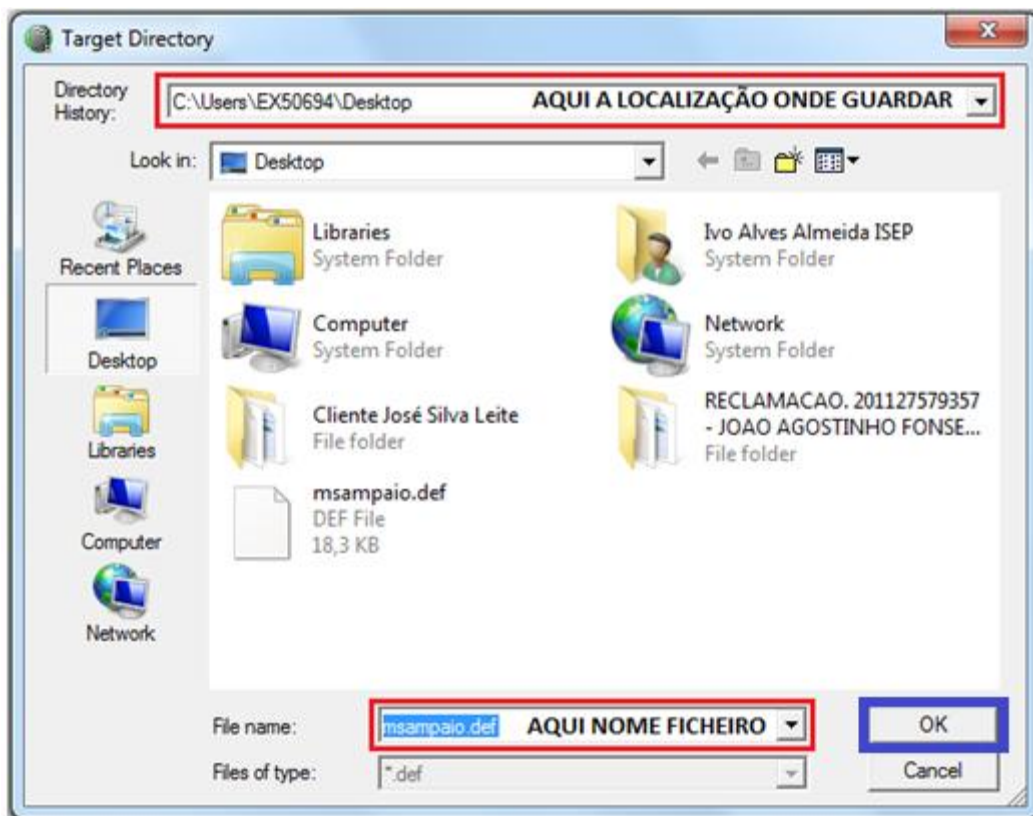
9. Verifique se ficou corretamente conectado.



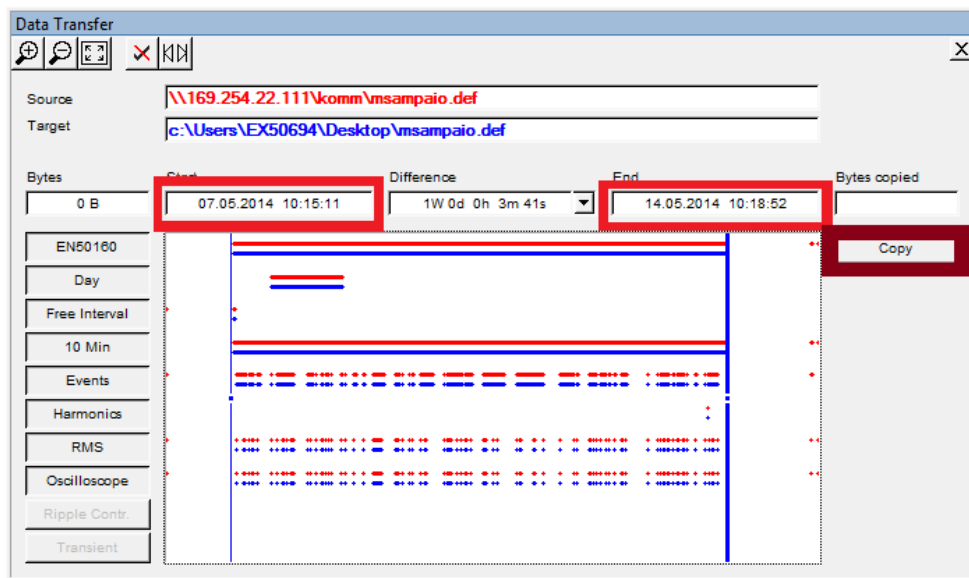
10. Selecione “Download Measurement Data”.



11. Defina a localização e o nome do ficheiro. Prima OK.

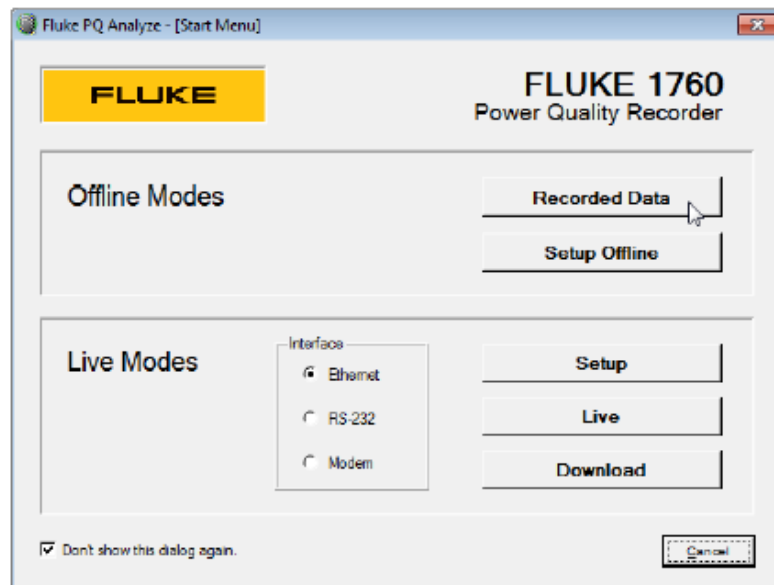


12. Defina o período de leituras. No nosso exemplo sabemos que o leitor gravou desde 7/5/2014 e 14/5/2014 logo, definimos as barras azuis para esse limite. Em seguida clicar em **COPY**.

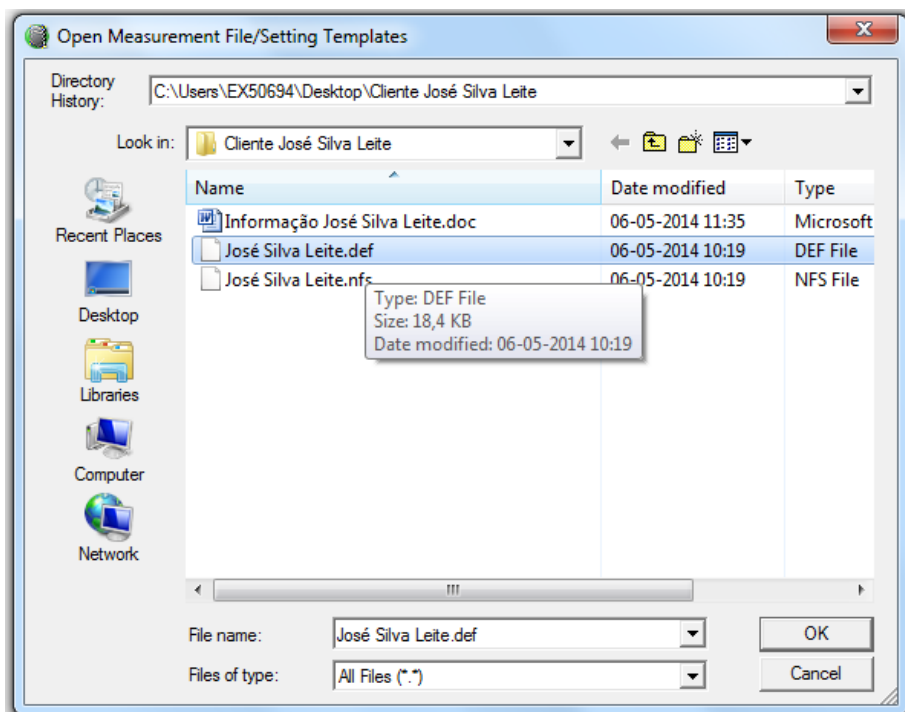


### Análise dos dados

1. Abra o PQ Analyse que se encontra no menu Iniciar.
2. Selecione o "Recorded Data".

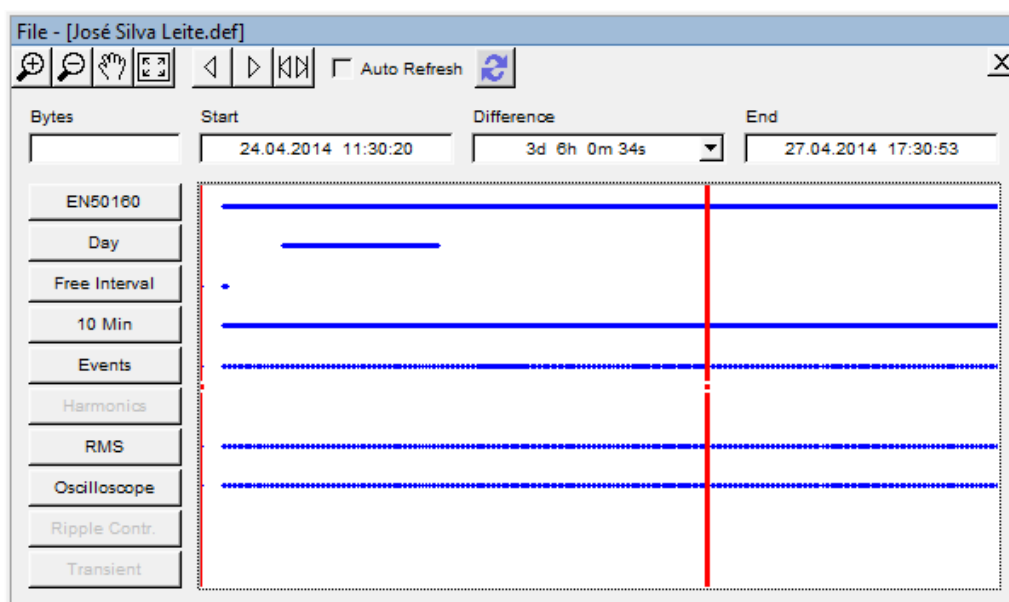


3. Abra o ficheiro com a extensão ".def" que pretende tratar. No exemplo em baixo o ficheiro tem o nome de José Silva Leite mas pode ter outro nome. Escolha OK.

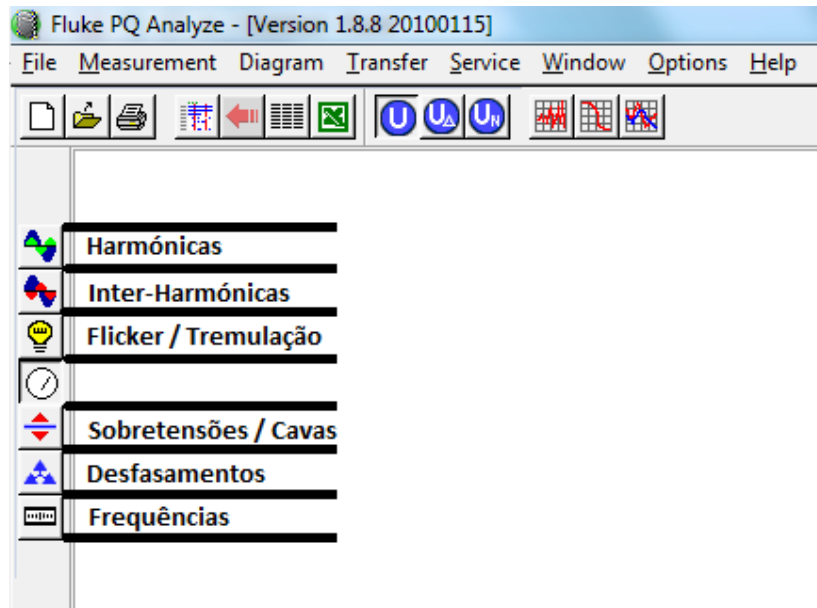


**Siga os passos seguintes se pretende uma análise em [Modo Avançado]**

4. Mesmo que a recolha tenha sido feita durante vários dias é possível definir outro período para análise, bastando para isso mover as barras vermelhas. Neste caso, embora a recolha tenha sido feita até ao dia 29 de Abril, considera-se apenas a recolha até às 17 horas 30 minutos e 53 segundos, do dia 27 de Abril.



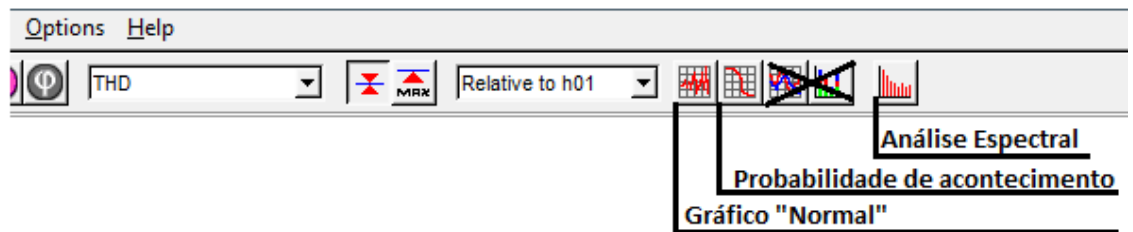
- Clique no botão “10 Min” da mesma janela (Desta maneira estará a considerar períodos médios de 10 minutos).
- Escolha qual o parâmetro que pretende analisar (Harmónicas, Frequência, Flicker, outros..).



- Indique qual o tipo de análise que pretende fazer, dadas as opções existentes.



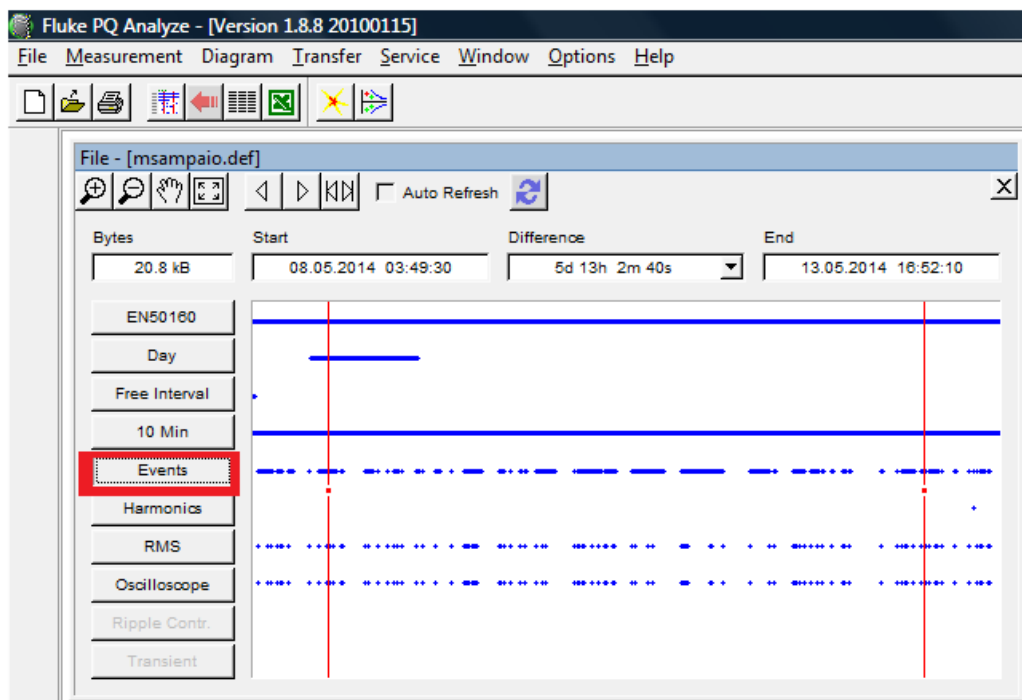
- Selecione o tipo de gráfico pretendido. Embora existam mais dois tipos de gráficos, os 3 abaixo referidos são geralmente suficientes.



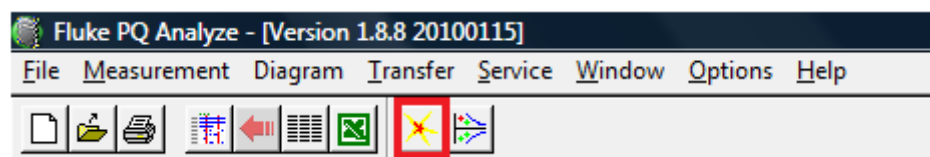
9. Assim que selecionado, o gráfico é aberto numa nova janela.

### **Análise em [Modo Simples]**

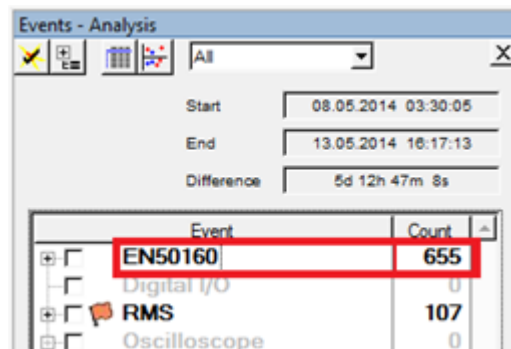
1. Escolha a opção Events.



2. Prima Event Database.

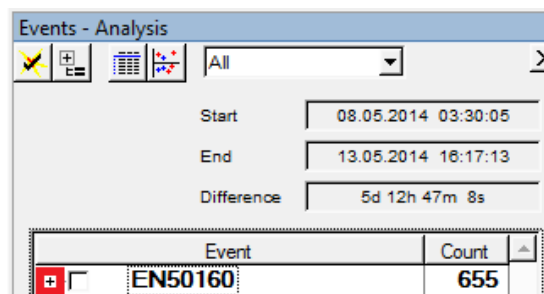


3. Neste momento, verá numa nova janela o número de eventos que ultrapassaram os limites impostos pela norma. No exemplo contam-se 655 eventos.



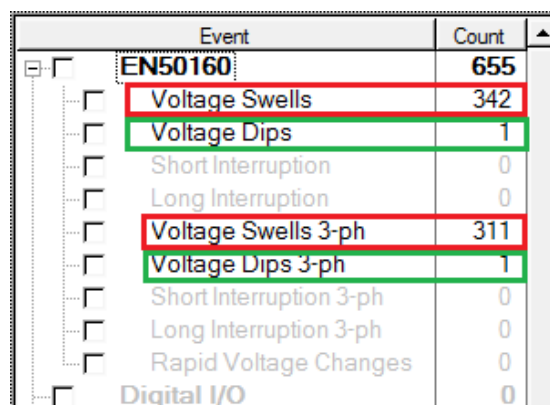
Event	Count
EN50160	655
Digital I/O	0
RMS	107
Oscilloscope	0

4. Clique no sinal mais.



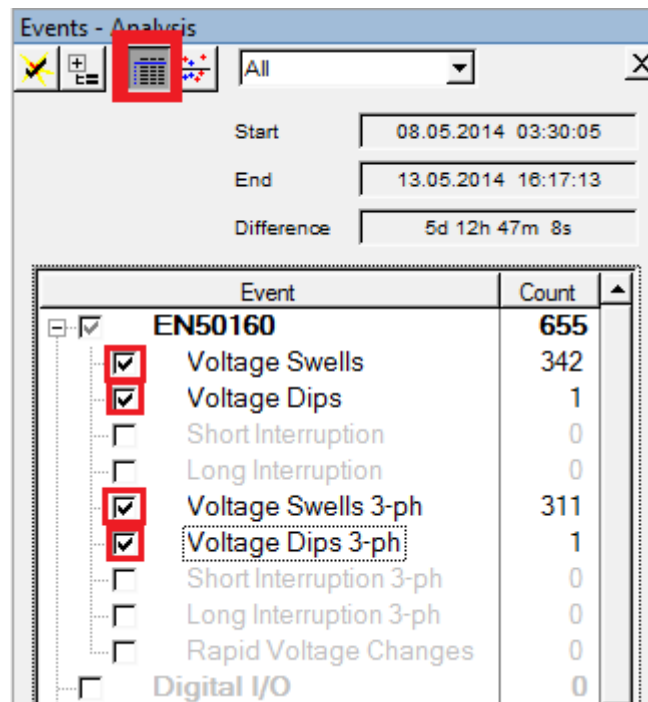
Event	Count
EN50160	655

5. Agora poderá ver com algum detalhe, o tipo de eventos ocorridos que ultrapassaram a norma EN50160. Para este exemplo, ocorreram maioritariamente “Swells” Sobretensões e “Dips” Cavas de tensão.



Event	Count
EN50160	655
Voltage Swells	342
Voltage Dips	1
Short Interruption	0
Long Interruption	0
Voltage Swells 3-ph	311
Voltage Dips 3-ph	1
Short Interruption 3-ph	0
Long Interruption 3-ph	0
Rapid Voltage Changes	0
Digital I/O	0

- Optando por uma descrição ainda mais pormenorizada, selecione, os tipos de eventos que quer ver em detalhe e pressione no botão em cima “Detail”.



- Agora terá todos os pormenores relativos à perturbação do sinal.

Events - Table

File Edit Graphs

Hold

Start 08.05.2014 03:30:05 End 13.05.2014 16:17:13 Difference 5d 12h 47m 8s

	Type	Tipo de defeito	Source	Fonte (fase)	Start	Início	Duration	Duração	Extr.Value	Valor
61	Voltage Swells		V L2		09.05.2014 12:20:10,949400			2m 53s		254,2 [V]
62	Voltage Swells		V L2		09.05.2014 12:24:04,225564			549,84ms		253,2 [V]
63	Voltage Swells		V L2		09.05.2014 12:24:32,386393			2m 12s		253,4 [V]
64	Voltage Swells		V L2		09.05.2014 12:30:10,157551			1m 23s		253,7 [V]
65	Voltage Swells		V L2		09.05.2014 12:34:09,193871			2m 53s		255,1 [V]
66	Voltage Swells		V L2		09.05.2014 12:44:54,800074			50,252s		254,2 [V]
67	Voltage Swells		V L1		09.05.2014 12:03:38,938862			43m 18s		261,2 [V]
68	Voltage Swells		V L2		09.05.2014 12:46:57,440385			5,7811s		255,2 [V]
69	Voltage Swells		V L2		09.05.2014 12:47:19,433384			30,281s		253,3 [V]
70	Voltage Swells		V L1		09.05.2014 12:47:03,208081			2m 30s		260,9 [V]
71	Voltage Swells		V L2		09.05.2014 12:49:13,353143			11m 46s		257,9 [V]
72	Voltage Swells		V L2		09.05.2014 13:01:55,826667			46,888s		254,1 [V]
73	Voltage Swells		V L1		09.05.2014 12:49:33,646060			18m 54s		260,3 [V]
74	Voltage Swells		V L2		09.05.2014 13:04:29,038104			17m 39s		256,4 [V]
75	Voltage Swells		V L1		09.05.2014 13:08:28,494301			45m 28s		260,8 [V]

### Listagem do equipamento que acompanha o Fluke 1760

- ✓ 4 Cabos de medição de corrente
- ✓ 4 Cabos de medição de tensão
- ✓ 4 Pares de molas
- ✓ 1 CD de Instalação de software
- ✓ 2 Cabos Ethernet
- ✓ 1 Aparelho de recepção de GPS
- ✓ 1 Cabo de alimentação
- ✓ 5 Pontas do cabo de alimentação
- ✓ Manuais

