

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

**Monitorização em tempo-real de parâmetros de
qualidade da rede elétrica a partir de diferentes
locais em Portugal Continental**

Nuno Miguel Salgado Campos

VERSÃO PROVISÓRIA

Preparação da Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. Aníbal João de Sousa Ferreira

Fevereiro de 2012

© Nuno Campos, 2012

Resumo

O objetivo principal deste projeto é permitir a monitorização em tempo-real (via Internet) de parâmetros fundamentais de qualidade da rede elétrica de energia, em diferentes localidades geograficamente distribuídas em Portugal. Os parâmetros mais importantes a recolher são a frequência de rede (Electric Network Frequency - ENF) e a distorção harmónica total (*Total Harmonic Distortion* - THD).

Para tal, deverão ser desenvolvidos sensores que de modo autónomo analisem diversos parâmetros a partir de uma vulgar tomada da rede elétrica de baixa tensão e que comuniquem esses dados via Web a um servidor que recolherá toda a informação. Este servidor fará o alinhamento temporal dos dados e disponibilizará graficamente, em tempo real, toda a informação relevante, através de uma interface Web.

Pretende-se analisar os resultados obtidos e provar a alta consistência geográfica da ENF e a sua baixa correlação temporal, como sugerem os estudos de G. Catalin [1].

Abstract

The main objective of this project is to allow real time monitoring (via Internet) of fundamental quality parameters of the electrical grid power, that are geographically distributed in different locations in Portugal. The most important parameters to be gathered are the Electric Network Frequency - ENF and the Total Harmonic Distortion - THD.

To achieve this, sensors should be developed in order to analyse several independent parameters from an ordinary low voltage wall outlet and to communicate this data to a Web server that collects all the information. The server will make time alignment of the data and will provide graphically, in real time, all relevant information via a Web interface.

The aim is to analyse the results and prove the high geographical consistency of ENF and its low temporal correlation, as suggested by the studies of G. Catalin [1].

Índice

Resumo	iii
Abstract	v
Índice	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
Abreviaturas e Símbolos	x
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Caracterização do Problema.....	1
1.2 - Enquadramento.....	4
1.3 - Motivação e Objetivos.....	4
1.4 - Estrutura do Documento.....	5
Capítulo 2	6
Estado da Arte.....	6
2.1 - Projetos Semelhantes.....	6
2.2 - Produtos Existentes.....	9
2.3 - Tecnologias e Componentes a Utilizar.....	10
2.4 - Normas Relacionadas.....	11
Capítulo 3	15
Proposta de Trabalho.....	15
3.1 - Metodologia.....	15
3.2 - Plano de Trabalho.....	16
3.3 - Resultados Esperados.....	16
3.4 - Principais Desafios.....	17

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Problemas de qualidade da energia elétrica [4]	3
Figura 2.1 - Aplicação desenvolvida em LabView [5]	7
Figura 2.2 - Diagrama de blocos representativo do analisador da qualidade de energia [6]	8
Figura 2.3 - PM3000 (<i>Esquerda</i>) e Fluke 435 (<i>Direita</i>).....	9
Figura 2.4 - CM3000 (<i>Esquerda</i>) e PQube (<i>Direita</i>)	10

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Valores dos primeiros 25 harmónicos de tensão nos pontos de fornecimento, expressos em percentagem da tensão nominal.[4]	12
Tabela 2.2 – Níveis de compatibilidade para os harmónicos de tensão em redes públicas de BT.[4]	13
Tabela 2.3 – Limites máximos de distorção harmónica.[4]	13

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

ADC	Conversor Analógico Digital
BT	Baixa Tensão
CEI	Comissão Eletrotécnica Internacional
CÉNÉLEC	Comité Européu de Normalização Eletrotécnica
DSP	Processador Digital de Sinal
DSP	Processador Digital de Sinal
ENF	<i>Electric Network Frequency</i>
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IEEE	Instituto dos Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrónicos
IP	Instituto Politécnico
IST	Instituto Superior Técnico
MIEEC	Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
MT	Média Tensão
RTC	Relógio em Tempo Real
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i>
UPS	<i>Uninterruptable PowerSupplies</i>

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo pretende-se abordar introdutoriamente o tema do projeto. É feita uma caracterização geral do problema e referido o seu domínio de intervenção. São também expostos os objetivos a atingir, a motivação pela escolha desta dissertação e a organização deste documento.

1.1 - Caracterização do Problema

A definição de qualidade da energia elétrica depende do domínio à qual é aplicada. Para a empresa concessionária, a fiabilidade do sistema é essencial. Para o consumidor doméstico, esta definição está relacionada principalmente com a continuidade no fornecimento de energia elétrica, assim como para a indústria, mas neste caso, a falta de energia elétrica ou mesmo a variação em alguns parâmetros elétricos, podem originar grandes prejuízos financeiros.

Resumidamente, qualidade da energia elétrica é definida como qualquer problema na energia manifestado por desvios na tensão, corrente ou frequência, que resultam na falha ou operação inadequada de equipamentos do consumidor [2].

A qualidade da energia elétrica aborda fenómenos eletromagnéticos que são divididos em várias categorias: transitórios, variações de curta e de longa duração, desequilíbrios de tensão, distorções na forma de onda, flutuações de tensão e variações na frequência [3].

Entre os problemas de qualidade de energia, a interrupção do fornecimento é o mais grave, pois afeta todos os equipamentos ligados à rede elétrica, à exceção daqueles que disponham de UPS (*Uninterruptable PowerSupplies*) ou gerador. Contudo, outros problemas de qualidade de energia, como os descritos a seguir e ilustrados na Figura 1.1, além de conduzirem à operação incorreta de alguns equipamentos, podem também danificá-los:

2 Introdução

- Distorção harmónica: quando existem cargas não lineares ligadas à rede elétrica, a corrente que circula nas linhas contém harmónicos e as quedas de tensão provocadas pelos harmónicos nas impedâncias das linhas originam também distorção nas tensões de alimentação.
- Ruído: corresponde ao ruído eletromagnético de alta-frequência, que pode ser produzido pelas comutações rápidas dos conversores eletrónicos de potência.
- Inter-harmónicos: surgem quando há componentes de corrente que não estão relacionadas com a componente fundamental (50 Hz); essas componentes de corrente podem ser produzidas por exemplo por cicloconversores¹.
- Interrupção momentânea: ocorre, por exemplo, quando o sistema elétrico dispõe de disjuntores com religador, que abrem na ocorrência de um curto-circuito, fechando-se automaticamente após alguns milissegundos.
- Subtensão momentânea (*voltage sag*): também conhecido por “cava de tensão”, pode ser provocada, por exemplo, por um curto-circuito momentâneo num outro alimentador do mesmo sistema elétrico.
- Sobretensão momentânea (*voltage swell*): pode ser provocada, entre outros casos, por situações de defeito ou operações de comutação de equipamentos ligados à rede elétrica.
- Flutuação da tensão (*flicker*): acontece devido a variações intermitentes de certas cargas, causando flutuações nas tensões de alimentação (que se traduz, por exemplo, em oscilações na intensidade da iluminação elétrica).
- Micro-cortes de tensão (*notches*): resultam de curto-circuitos momentâneos, que ocorrem durante intervalos de comutação dos semicondutores de potência dos retificadores.
- Transitórios: ocorrem como resultado de fenómenos transitórios, tais como a comutação de bancos de condensadores ou descargas atmosféricas.[4]

¹ Equipamentos que permitem sintetizar tensões e correntes de saída com frequência inferior

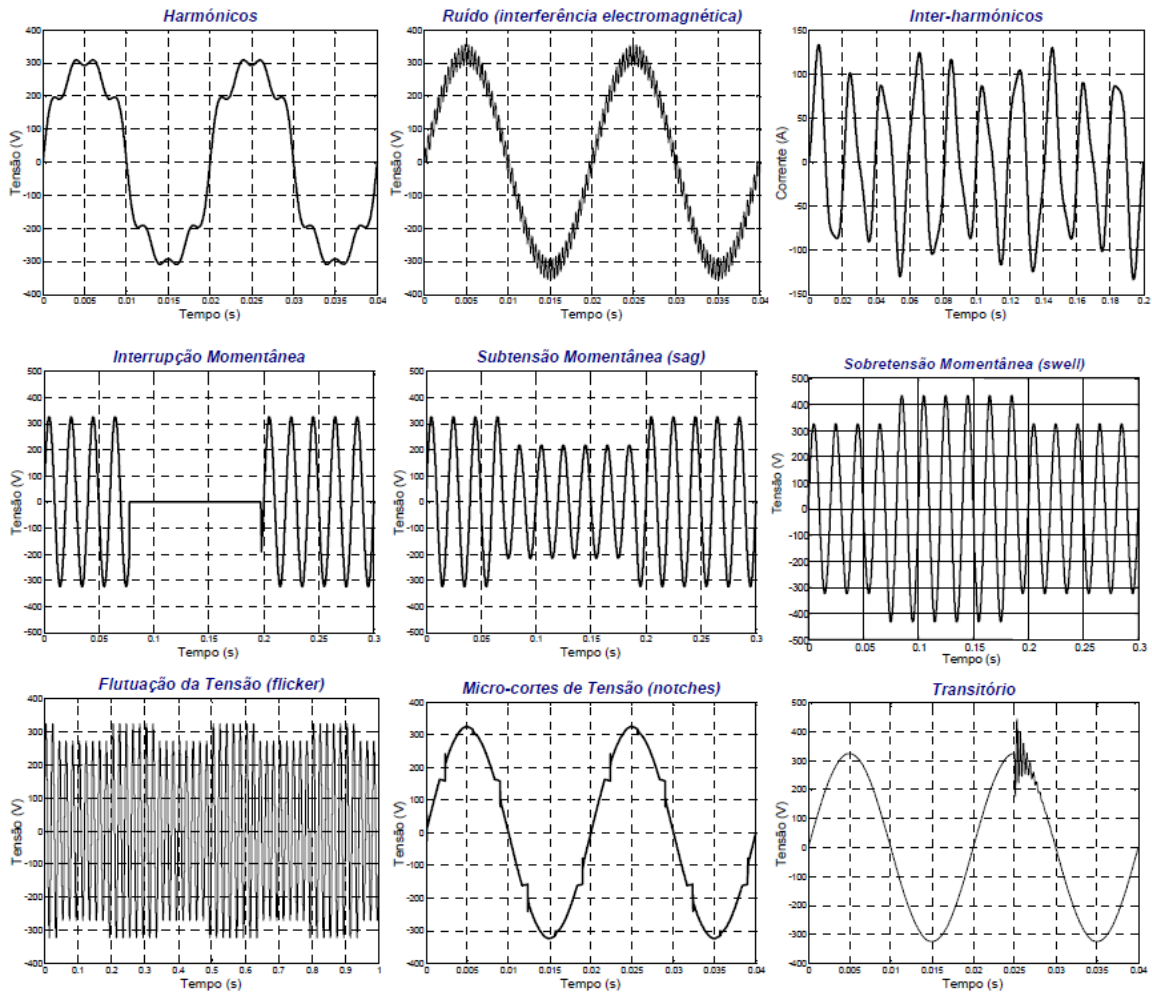


Figura 1.1 - Problemas de qualidade da energia elétrica [4]

A monitorização da qualidade da energia da rede elétrica tem como objetivo caracterizar as variações destes parâmetros. Um dos principais parâmetros que importa monitorizar é a frequência fundamental da rede (ENF). Este valor não é constante, flutuando em torno do valor nominal devido às variações das cargas da rede de energia. Na Europa, estas flutuações tornam o ENF numa variável aleatória contínua que varia tipicamente entre 49,90 Hz e 50,10 Hz [1]. Estas flutuações são consistentes em toda a rede de energia, e tem sido mostrado que as flutuações de frequência medidas em locais distantes, mas ligados na mesma rede (e com a mesma potência) têm um valor semelhante. Portanto, o sinal de ENF captado em qualquer localização na rede pode servir como um sinal representativo para toda a área coberta pela rede de alimentação [1].

Para se realizar a monitorização, uma das fases deste projeto consiste no desenvolvimento de um sistema de aquisição de sinal e comunicação de dados, com a capacidade de extração de alguns parâmetros qualitativos da rede, em particular a frequência precisa e a distorção harmónica, e posterior envio destes para um servidor, que funcionará como centro de recolha e tratamento de informação.

A segunda fase do projeto envolve a análise comparativa dos dados recolhidos provenientes de diversos locais² e, através do alinhamento temporal desta informação, provar a alta consistência geográfica da ENF e a sua baixa correlação temporal, como sugerem os estudos de C. Grigoras [1].

1.2 - Enquadramento

As empresas, principalmente do ramo industrial, têm vindo a revelar uma maior preocupação com a qualidade da energia elétrica e, como tal, adquirem equipamentos que possibilitam o controlo da mesma. Naturalmente que os distribuidores e fornecedores de energia elétrica têm obrigatoriamente de monitorizar dos diversos parâmetros da rede para poderem garantir aos clientes uma boa qualidade de serviço.

Em meados de 2011 foram realizados contactos com a EDP, e foi-nos indicado que, em Portugal, o controlo e monitorização em baixa tensão (BT) é feito por amostragem e que nas subestações são feitas monitorizações trimestrais, de dois em dois anos, através de equipas que se deslocam ao local para efetuarem as medições. Por este motivo, responsáveis da EDP demonstraram interesse no conceito deste projeto, pela ambição de monitorização sistémica e instantânea, de forma automática, que poderá viabilizar estudos e mesmo decisões preventivas de segurança que neste momento não estão ainda implementadas.

Esta solução pode revelar requisitos demasiado exigentes e tornar-se dispendiosa, mas pode-se tornar vantajosa a médio/longo prazo. Com efeito, a não-idealidade dos parâmetros da rede elétrica nacional conduz a um maior desgaste nos materiais e equipamentos, consequentemente a maiores custos de manutenção que se revelariam desnecessários no caso da deteção (e eventual correção) destes parâmetros em tempo útil.

Por outro lado, nos últimos anos ocorreu um aumento significativo do número de tentativas de utilização de evidências de áudio e vídeo digital em todos os setores de justiça criminal. Como estas evidências podem ser editadas ou falsificadas, o examinador forense carece de procedimentos eficazes para a avaliação da autenticidade das gravações. A análise das variações da frequência do sinal elétrico pode, por análise comparativa com registos existentes, revelar-se um método para deteção de falsificações e, no limite, de determinação do local e da hora onde ocorreram [1].

1.3 - Motivação e Objetivos

O principal motivo que me levou a optar por este projeto foi o caráter multidisciplinar do mesmo, pois explora diversas componentes que foram trabalhadas ao longo do curso, como a

² IP Bragança, FEUP, IP Castelo Branco, IST Lisboa e U. Algarve

programação (de *Hardware* e *Software*), comunicação entre dispositivos, análise de sinal e redes elétricas de energia. Outro fator importante foi o interesse demonstrado pela EDP, sustentando a ideia de este ser um projeto com aplicação prática.

Como já foi referido neste documento, este projeto tem dois objetivos. O primeiro objetivo compreende a projeção e desenvolvimento de dispositivos ligados a uma rede monofásica em BT que, de forma autónoma, possam recolher dados relativos à frequência de rede (ENF), com resolução à milésima de Hz, e à distorção harmónica total (THD), no mínimo até ao 25º harmónico. Devido ao curto espaço de tempo disponível para a realização da dissertação, existe ainda a possibilidade de serem adquiridos dispositivos que já possuam as características pretendidas, sendo que neste caso, o primeiro objetivo implica apenas a integração dos mesmos.

O segundo objetivo consiste na recolha e análise dos dados obtidos. Para tal será necessário desenvolver uma plataforma capaz de receber e ordenar os resultados, e mostrá-los graficamente, apresentando a informação de acordo com as definições pretendidas pelo utilizador. Pretende-se posteriormente analisar comparativamente os dados recolhidos simultaneamente em diversos locais para se poderem tirar conclusões acerca da consistência geográfica e da correlação temporal das variações dos parâmetros de qualidade da rede elétrica. Este será o principal objetivo do projeto, atendendo ao facto de o primeiro objetivo não ser propriamente inovador, visto já existirem alguns dispositivos de monitorização de rede.

1.4 - Estrutura do Documento

Este documento é constituído por três capítulos principais. No primeiro, é apresentado o projeto, respetivo enquadramento e objetivos. No segundo é analisado o estado da arte, são referidos projetos e soluções já existentes assim como as normas existentes relativas à qualidade da energia elétrica. No terceiro capítulo expõe-se o plano de trabalho a seguir, as metodologias a utilizar assim como os resultados que se esperam obter. Optou-se por uma conclusão final, abrangendo todo o documento, em detrimento de conclusões parciais por capítulo.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo pretende-se expor o “estado da arte” no que diz respeito à monitorização em tempo real de parâmetros da rede elétrica. São referidos alguns estudos e projetos na área, particularmente em Portugal. Como já são comercializados dispositivos com as características necessárias ao desenvolvimento do nosso projeto, são mencionados também alguns produtos existente no mercado. É ainda objetivo deste capítulo uma breve análise das ferramentas a utilizar assim como das normas em vigor relacionadas com o tema.

2.1 - Projetos Semelhantes

Foram já realizados alguns projetos relacionados com a monitorização dos parâmetros da rede elétrica. Um deles foi desenvolvido em 2003 por um grupo de investigadores do IP Bragança e da U. Minho, denominado “Sistema de Monitorização da Qualidade da Energia Elétrica Baseado em PC”[5]. Este é um sistema de baixo custo desenvolvido para monitorização da qualidade de energia elétrica e gestão de energia. O sistema utiliza sensores de efeito Hall de tensão e corrente para o condicionamento dos sinais da rede elétrica, uma placa de aquisição de dados genérica e um PC, que trabalha com a linguagem de programação gráfica LabVIEW. O sistema deteta continuamente diversas anomalias relacionadas com a qualidade da energia elétrica, registando esta informação, que pode ser visualizada em tabelas ou gráficos e utilizada para gerar relatórios no formato HTML. A aplicação executa continuamente a aquisição de quatro sinais de tensão e de corrente (pois está preparada para monitorizar sistemas trifásicos) e, em simultâneo, processa toda a informação necessária para elaborar os gráficos, detetar *sags*, *swells* e distorções na forma de onda. Este trabalho prova que é possível implementar um monitorizador de qualidade da energia elétrica com todas as funcionalidades adequadas para uma utilização em ambientes industriais, comerciais ou residenciais. [5]

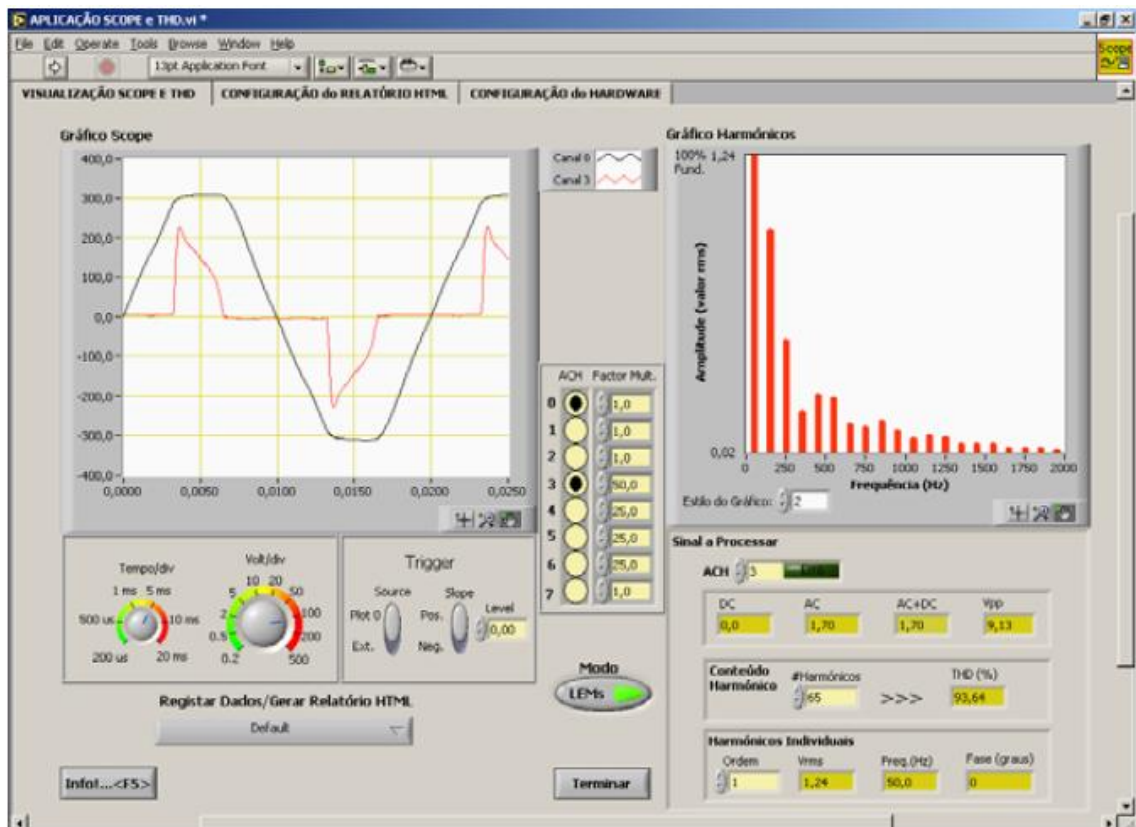


Figura 2.1 - Aplicação desenvolvida em LabView [5]

Foi também elaborada uma dissertação em 2011 sobre o desenvolvimento de um “Analisador da Qualidade de Energia Baseado em DSP”[6], um dispositivo para monitorização de energia na rede eléctrica monofásica em baixa tensão. O protótipo desenvolvido teve como base um *kit* com um processador digital de sinal (DSP), onde foram programados os algoritmos necessários para deteção e classificação de várias perturbações que costumam ocorrer na rede eléctrica. Ao contrário do sistema referido anteriormente, este dispositivo tem como característica o funcionamento autónomo, pois não necessita de qualquer plataforma externa (como um computador), e é alimentado por uma fonte de alimentação redundante - uma bateria de iões-lítio.

Relativamente à composição, este dispositivo integra por seis unidades distintas:

- unidade de interface com a rede eléctrica;
- unidade de condicionamento do sinal de tensão;
- módulo de aquisição do sinal analógico e conversão para sinal digital;
- unidade de processamento do sinal e dos algoritmos implementados;
- módulo de memória externa e relógio em tempo real;
- módulo de alimentação de todo o sistema.

8 Estado da Arte

As ligações entre estas unidades são apresentadas através do diagrama de blocos da figura 2.2 e o seu funcionamento geral é explicado de seguida.

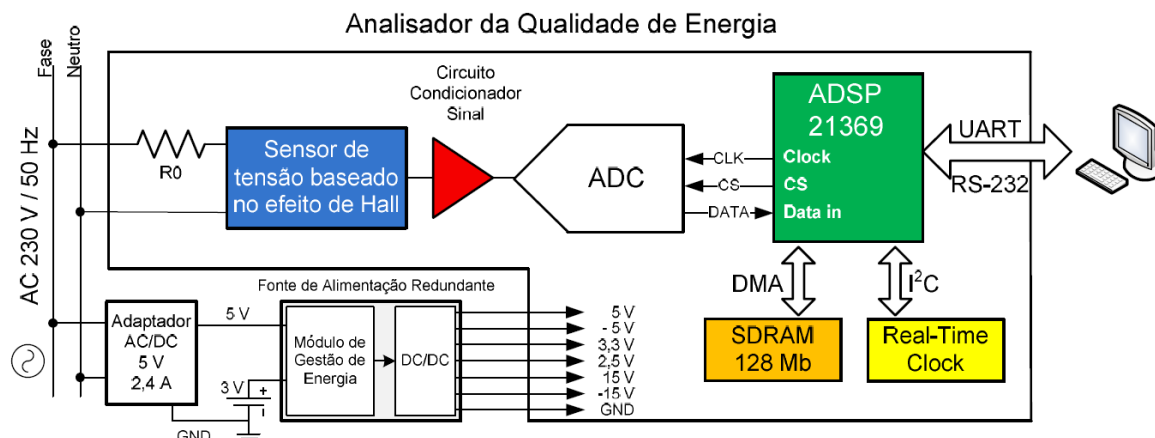


Figura 2.2 - Diagrama de blocos representativo do analisador da qualidade de energia [6]

A unidade de interface com a rede elétrica é constituída por um transdutor baseado no efeito de Hall que transforma o sinal de tensão, num sinal sinusoidal de menor amplitude. O conversor analógico digital (ADC) tem a função de converter o sinal analógico de tensão em palavras digitais, cujo comprimento é definido pelo número de bits do conversor. Este está ligado a uma porta série do DSP que, para além de realizar todo o processamento requerido para a análise da qualidade de energia, irá gerar e enviar os sinais de controlo ao ADC e guardar na memória interna as amostras recolhidas. Como a memória interna do DSP é insuficiente para o armazenamento de um elevado número de pontos, foi ligada uma memória exterior (SDRAM). Os resultados da deteção e classificação de perturbações poderão ser também enviados para um PC, via UART/RS-232, para armazenamento e posterior consulta. A cada perturbação está associada um conjunto de características tal como o instante temporal da ocorrência, a amplitude e a duração. Para medir os instantes de tempo recorre-se a um relógio em tempo real (RTC).

Importa ainda referir que o custo dos componentes deste protótipo foi aproximadamente de 200 Euro.

Os testes realizados mostraram que módulos se apresentaram funcionais e que o sistema obteve os resultados esperados. [6]

Relativamente a projetos de análise da correlação espacial e temporal dos parâmetros da rede elétrica apenas foram efetuados estudos no âmbito forense, nomeadamente relacionados com a legitimação de sinais de áudio e de vídeo. Não encontramos nenhum estudo ou projeto nesta área em Portugal.

2.2 - Produtos Existentes

Existem no mercado diversos produtos que permitem a monitorização dos diversos parâmetros de qualidade da rede elétrica *in loco*, tais como o PM3000 da Outram Research [7] ou o Fluke 435 Series II [8].



Figura 2.3 - PM3000 (Esquerda) e Fluke 435 (Direita)

Estes dispositivos têm a capacidade de mostrar graficamente os resultados, mas apenas possibilitam a visualização destes no local onde estão a ser utilizados. Existem no entanto aparelhos dotados de ligação a servidor remoto, para controlo à distância, como é o caso do CM3000 da Shneider Electric [9] ou do PQube da PSL [10]. Todos estes dispositivos permitem uma análise dos parâmetros da rede elétrica, particularmente da distorção harmónica, de acordo com a norma EN 50160, e da ENF.



Figura 2.4 - CM3000 (Esquerda) e PQube (Direita)

Em Portugal, a EDP disponibilizou recentemente o “Serviço de Monitorização à Qualidade da Energia Elétrica - QWEBREPORT” [11], que consiste na colocação de um equipamento de monitorização da qualidade da onda na instalação do cliente (tipicamente no Quadro geral de BT), sendo o tratamento dos dados recolhidos assegurado por um servidor central da EDP. Citando a página da EDP [11], “Todas as perturbações relevantes são guardadas em memória. As interrupções, as cavas e os micro cortes, as sobretensões e os conteúdos harmónicos são registados e horodatados, permitindo em qualquer momento e em qualquer lugar verificar os problemas que se passaram, criar estatísticas de períodos longos de tempo e confrontar os dados com as perturbações na instalação do cliente”.

2.3 - Tecnologias e Componentes a Utilizar

Como ainda não foi definido se o dispositivo de monitorização vai ser desenvolvido de raiz ou se os módulos vão ser adquiridos e integrados, os componentes a utilizar neste projeto ainda não estão definidos.

De igual modo, as tecnologias ainda não foram testadas e apenas no desenrolar do projeto se vai optar pelas que melhor servirem os objetivos pretendidos. No entanto, é possível desde já afirmar que para a análise dos sinais obtidos a escolha recairá sobre uma destas ferramentas: Matlab ou LabVIEW.

2.3.1 - Matlab

É um *software* interativo desenvolvido pela MathWorks, vocacionado para o cálculo numérico que permite também processamento de vários tipos de sinais. Possui diversas subaplicações, como é o caso do Simulink, uma ferramenta para modelação, simulação e análise de sistemas dinâmicos. Esta ferramenta tem objetivos semelhantes ao Labview, que será apresentado de seguida.

2.3.2 - LabVIEW

A ferramenta LabVIEW foi desenvolvida pela Texas Instruments e é utilizada sobretudo para análises em tempo real, ao contrário do Matlab. Através de uma linguagem de programação gráfica, orientada a objetos, que possibilita a rápida criação de "instrumentos" que permitem a realização de medições sofisticadas, teste e sistemas de controlo utilizando ícones e fios em forma de fluxograma. Oferece integração inúmeros dispositivos de *hardware* e disponibiliza centenas de bibliotecas de análise avançada e visualização de dados. A plataforma LabVIEW é escalável através de múltiplos dispositivos e diferentes sistemas operativos. Permite a importação e exportação de dados em diversos formatos, inclusivamente bases de dados recorrendo a SQL.

2.4 - Normas Relacionadas

Estima-se que nos países industrializados mais de metade de toda a potência elétrica flui através de um qualquer equipamento de eletrónica de potência, originando por isso eventuais problemas de qualidade de energia elétrica. Para combater o aumento desta "poluição" eletromagnética, organizações como a CEI - Comissão Eletrotécnica Internacional e o IEEE - Instituto dos Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrónicos - tem elaborado normas visando limitar o conteúdo harmónico nos sistemas elétricos. Simultaneamente, fabricantes e utilizadores de equipamentos de eletrónica de potência têm vindo a desenvolver soluções para os problemas existentes.

No âmbito da Comunidade Europeia e no sentido da harmonização da legislação, várias diretivas foram publicadas tendentes eliminar as diferenças na legislação dos diferentes estados. Uma dessas diretivas é a Diretiva de Conselho n.º 85/374 sobre responsabilidade por produtos defeituosos. O seu Art.º 2º define a eletricidade como um produto, e como tal tornou-se necessário definir as suas características, o que originou a norma europeia EN 50160 [4].

Normas internacionais relativas ao consumo de energia elétrica, tais como EN 50160, IEC 61000 e IEEE 519, limitam o nível de distorção harmónica nas tensões com os quais os sistemas elétricos podem operar, e impõem que os novos equipamentos não introduzam na rede harmónicos de corrente de amplitude superior a determinados valores. É dessa forma evidenciada a importância em resolver os problemas dos harmónicos, quer para os novos equipamentos a serem produzidos, quer para os equipamentos já instalados.

2.4.1 - Norma NE/EN 50160

"Características da Tensão Fornecida pelas Redes Públicas de Distribuição" - Esta norma, publicada pelo CÉNÉLEC (Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica), define, no ponto

de fornecimento ao consumidor, as características principais da tensão para as redes públicas de abastecimento de energia em BT e MT, tais como: frequência, amplitude, forma de onda, cavas de tensão, sobretensões, harmónicos e inter-harmónicos de tensão, simetria das tensões trifásicas, transmissão de sinais de informação pelas redes de energia.

Para as redes de BT, relativamente aos harmónicos de tensão, durante o período de uma semana, 95% dos valores eficazes de cada harmónico de tensão (valores médios em cada 10 minutos), não devem ultrapassar os valores indicados na Tabela 2.1:

Tabela 2.1 – Valores dos primeiros 25 harmónicos de tensão nos pontos de fornecimento, expressos em percentagem da tensão nominal.[4]

Harmónicos ímpares				Harmónicos pares	
Não múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Ordem n	Tensão relativa (%)	Ordem n	Tensão relativa (%)	Ordem n	Tensão relativa (%)
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6 - 24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Nota: Os valores correspondentes aos harmónicos de ordem superior a 25, por serem geralmente baixos e muito imprevisíveis (devido aos efeitos de ressonância), não são indicados nesta tabela

Além disso, esta norma especifica que a taxa de distorção harmónica total da tensão fornecida (tendo em conta os primeiros 40 harmónicos) não deverá ultrapassar 8%.

Para as redes de MT aplica-se a mesma tabela, com a observação de que o valor do harmónico de ordem 3, dependendo da conceção da rede, pode ser muito mais baixo.

2.4.2 - Norma CEI/IEC 61000

A série 61000 de normas CEI diz respeito à compatibilidade eletromagnética e compreende as seguintes partes:

- 1) Generalidades - considerações gerais, definições, terminologia, etc..
- 2) Ambiente - descrição do ambiente, características do ambiente onde vai ser instalado o equipamento, níveis de compatibilidade.
- 3) Limites - limites de emissão, definindo os níveis de perturbação permitidos pelos equipamentos ligados à rede de energia elétrica, limites de imunidade.
- 4) Ensaio e medidas - técnicas de medida e técnicas de ensaio de modo a assegurar a conformidade com as outras partes da norma.
- 5) Guias de instalação e de atenuação - providenciam guias para a aplicação em equipamentos, tais como filtros, equipamentos de compensação, descarregadores de sobretensões, entre outros, para resolver problemas de qualidade da energia.

6) Normas gerais e de produto - definem os níveis de imunidade requeridos pelos equipamentos em geral ou para tipos específicos de equipamentos.

Os níveis de compatibilidade eletromagnética são especificados de acordo com o vocabulário eletrotécnico internacional, CEI 60050(161). Define-se:

- Nível de emissão: nível máximo permitido para um consumidor de uma rede pública ou para um aparelho.
- Nível de compatibilidade: nível máximo especificado de perturbação que se pode esperar num dado ambiente.
- Nível de imunidade: nível de perturbação suportado por um aparelho ou sistema.
- Nível de suscetibilidade: nível a partir do qual um aparelho ou sistema começa a funcionar deficientemente.

A norma CEI 61000-2-2 define os níveis de compatibilidade para os harmónicos de tensão para redes de baixa-tensão, de acordo com a Tabela 2.2:

Tabela 2.2 – Níveis de compatibilidade para os harmónicos de tensão em redes públicas de BT.[4]

Harmónicos ímpares não múltiplos de 3		Harmónicos ímpares múltiplos de 3		Harmónicos pares	
Ordem n	Tensão harm. (%)	Ordem n	Tensão harm. (%)	Ordem n	Tensão harm. (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	>21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>12	0,2
25	1,5				
>25	$0,2 + 0,5 \times 25/n$				

2.4.3 - Norma ANSI/IEEE 519 - 1992

De acordo com esta norma, as empresas distribuidoras são responsáveis pela manutenção da qualidade da tensão em todos os seus sistemas. Esta norma estipula os limites de distorção para os diferentes níveis de tensão a observar nas redes elétricas, de acordo com a Tabela 2.3:

Tabela 2.3 – Limites máximos de distorção harmónica.[4]

Tensão nominal no PAC (U_n)	Distorção harmónica individual (%)	Distorção harmónica total (%)
$U_n \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < U_n \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$U_n > 161 \text{ kV}$	1,0	1,5

Capítulo 3

Proposta de Trabalho

Neste capítulo é apresentada a proposta de trabalho para o desenvolvimento do projeto, que inclui o plano de trabalho e a metodologia. Explica-se quais são os resultados esperados e quais são os principais desafios a superar.

3.1 - Metodologia

A primeira fase será de desenvolvimento do protótipo de recolha de parâmetros de qualidade de energia elétrica. Este será constituído por dois módulos fundamentais: o módulo de aquisição de dados e o módulo de comunicação e ainda um módulo GPS.

No módulo de aquisição, a informação que passa para o conversor terá que se adaptar ao nível de tensão apropriado. Este dispositivo terá que ter uma capacidade computacional capaz de realizar três transformadas discretas de 2048 pontos, em tempo real, considerando a frequência de amostragem de 4096 Hertz.

Relativamente ao módulo de comunicação, este recebe a informação proveniente do módulo anteriormente descrito, associando-lhe uma etiqueta temporal, adquirida através do módulo GPS. A informação enviada é guardada numa memória local, através de um cartão de memória, e será depois enviada através da rede, utilizando o protocolo de comunicação HTTP sobre TCP/IP.

O módulo GPS, para além da etiquetagem temporal, tem também a função de sincronização entre os vários módulos (usando um bit de sincronismo para o efeito), garantindo assim a fiabilidade das amostras obtidas não só a nível local, como também ao nível de toda a rede de análise que este projeto visa implementar.

Devido à complexidade e ao curto espaço de tempo disponível para o projeto, existe a possibilidade de serem adquiridos dispositivos que integrem um ou mais destes módulos, focando-se o objetivo principal do projeto na análise dos dados.

Paralelamente ao protótipo de monitorização será desenvolvida uma plataforma *online* de recolha e análise da informação recebida, constituída por uma base de dados e uma página *web*.

Na fase de análise dos resultados obtidos, recorrer-se-á a uma ferramenta de análise de sinal, Matlab ou LabVIEW, para se cruzarem os dados recolhidos dos diversos locais e ser possível o estudo da correlação existente entre os mesmos.

3.2 - Plano de Trabalho

Neste ponto, são listadas as principais tarefas a desenvolver ao longo do projeto:

- Pesquisa e caracterização do estado-da-arte, quer de soluções já existentes, quer da legislação aplicável, relativamente a valores de referência e tolerâncias operacionais para os principais parâmetros de qualidade da rede de energia elétrica.
- Definição de requisitos para os parâmetros de qualidade a medir e respetiva precisão.
- Levantamento dos requisitos funcionais relativos aos diversos componentes que farão parte do sistema de monitorização.
- Definição dos requisitos/protocolos de comunicação com o servidor central.
- Desenvolvimento de algoritmos eficientes para a estimação dos principais parâmetros de qualidade, nomeadamente a frequência precisa de rede e a distorção harmónica total.
- Seleção das plataformas de realização dos algoritmos e protocolos de comunicação desenvolvidos.
- Desenvolvimento do *software* necessário para assegurar recolha de toda a informação, seu alinhamento temporal, e respetiva interface gráfica.
- Realização de testes em diferentes locais.
- Análise dos resultados obtidos.
- Escrita do relatório final.
- Preparação da apresentação final da dissertação.

3.3 - Resultados Esperados

Espera-se obter no final deste projeto pelo menos um dispositivo de recolha de parâmetros fundamentais de qualidade da rede elétrica de energia, e que este seja capaz de funcionar autonomamente e de enviar a informação recolhida para o servidor central. Espera-

se também que seja possível a visualização da variação destes parâmetros através de gráficos construídos segundo critérios definidos pelo utilizador.

Pretende-se no final provar a alta consistência geográfica da frequência da rede (ENF) assim como a sua baixa correlação temporal.

3.4 - Principais Desafios

Este projeto é ambicioso e não depende apenas do esforço do aluno e do orientador, estando também dependente colaboração externa.

O tempo previsto para a execução da dissertação (quatro meses) poderá revelar-se insuficiente para a execução total dos objetivos propostos, uma vez que o desenvolvimento de um protótipo de raiz com as características pretendidas necessita de bastante tempo e depende eventualmente de colaboração de outros elementos.

A integração entre os diversos componentes do protótipo será certamente um desafio, visto ser um trabalho com características inéditas no desenrolar do MIEEC.

A obtenção de resultados está também dependente da colaboração com outras instituições de ensino, pois os dispositivos desenvolvidos terão de ser colocados em diferentes localizações geográficas para ser possível a análise comparativa dos dados obtidos.

Conclusão

Muitos dos problemas de qualidade de energia podem fazer com que alguns equipamentos funcionem de forma incorreta e levar à interrupção processos de fabrico com prejuízos muito elevados. Tais problemas podem ser resolvidos quando as suas causas são identificadas e se adotam as medidas apropriadas para a sua correção. A monitorização da rede elétrica tem um papel fundamental neste campo.

Muitos estudos foram realizados no âmbito da qualidade da energia elétrica, alguns deles relativos à sua monitorização. Este projeto em particular pretende sustentar-se em alguns desses estudos e soluções desenvolvidas nesta área e integra-los com estudos em campos aparentemente não relacionados, como as ciências forenses.

Pretende-se mostrar que, através da monitorização e manutenção e análise dos dados adquiridos, é viável o estabelecimento de relações de espaciais e temporais com outros sinais, por exemplo de áudio e vídeo.

Referências

- [1] C. Grigoras, "Applications of ENF criterion in forensic audio, video, computer and telecommunication analysis," *Forensic Science International*, vol. 167, no. 2-3, pp. 136-145, 2007.
- [2] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, and H. W. Beaty, *Electrical power systems quality*, New York: McGraw-Hill, 1996.
- [3] A. Campos, A. Wanderley, and R. Biondi, "Análise Experimental da Influência da Tecnologia Homeplug na Qualidade da Energia Elétrica," *Holos*, vol. 2, no. 23, 2007.
- [4] J. S. Martins, C. Couto, and J. L. Afonso, "Qualidade da Energia Elétrica," 3º *Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia*, 2003.
- [5] J. Batista, J. S. Martins, and J. L. Afonso, "Sistema de Monitorização da Qualidade da Energia Elétrica Baseado em PC," 8º *Congresso Luso-Espanhol de Engenharia Electrotécnica*, 2003.
- [6] P. Xavier, "Analisador da Qualidade de Energia baseado em DSP," IST Lisboa, 2011.
- [7] O. R. Ltd. "PM3000 - Power quality, harmonics and flicker monitor," 02-02-2012; http://www.outramresearch.co.uk/pages/product_pm3000.shtml.
- [8] Fluke. "Fluke 435 Series II Power Quality and Energy Analyzer," 06-02-2012; <http://www.fluke.com/fluke/inen/Power-Quality-Tools/Logging-Power-Meters/Fluke-435-Series-II.htm?PID=73939>.
- [9] S. Electric. "CM3000 circuit monitor," 02-02-2012; http://www.powerlogic.com/product.cfm/c_id/1/sc_id/3/p_id/16.
- [10] PSL. "PQube - AC Power Monitor," 05-12-2011; <http://powerstandards.com/PQubeOption.htm>.
- [11] EDP. "Monitorização à Qualidade da Energia Elétrica - QWEBREPORT," 08-02-2012; <http://www.edp.pt/pt/empresas/servicosenergia/qualidadedaenergia/Pages/Monitoriza%C3%A7%C3%A3o%C3%A0QualidadedaEnergiaEl%C3%A9ctrica-QWEBREPORT.aspx>.