

Monitorização da Qualidade da Energia Eléctrica em Instalações Industriais

José C. Costa⁽¹⁾, Ricardo G. Pregitzer⁽¹⁾, José Batista⁽²⁾,
Júlio S. Martins⁽¹⁾, João L. Afonso⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Electrónica Industrial, Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal
jcarlos@dei.uminho.pt; rpregitzer@dei.uminho.pt; jmartins@dei.uminho.pt; jla@dei.uminho.pt

⁽²⁾ Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança
Campus de Sta. Apolónia, Apartado 134 – 5301-857 Bragança, Portugal
jbatista@ipb.pt

Resumo

Este artigo aborda o tema da análise e caracterização da qualidade de energia eléctrica, com base nos resultados obtidos com um monitorizador de qualidade de energia desenvolvido. É apresentada uma descrição do monitorizador de qualidade de energia e das suas várias funcionalidades. É feita referência a normas internacionais que se aplicam a qualidade de energia e à monitorização de sistemas eléctricos. Por fim, são apresentados alguns resultados de casos reais de monitorizações feitas em indústrias.

Palavras-chave: Qualidade de Energia Eléctrica, Sistema de Monitorização, Instrumentação Virtual, *LabVIEW*TM, Harmónicos, Desequilíbrios.

1. Introdução

Actualmente, a qualidade da energia eléctrica é alvo de vários estudos, devido à sua importância tanto para as empresas produtoras e distribuidoras de energia, como para os consumidores e fabricantes de equipamentos. Esses estudos são o primeiro passo na estratégia para a melhoria da qualidade de energia eléctrica, pois só depois de conhecidos os problemas é que se podem encontrar as soluções. Normas internacionais relacionadas com a qualidade de energia e a monitorização de sistemas eléctricos, tais como IEEE 1159, IEC 61000 e EN 50160, ajudam a enquadrar e classificar os problemas encontrados nas avaliações feitas a instalações eléctricas e equipamentos. Os fenómenos electromagnéticos nos sistemas eléctricos mais comuns e que estão directamente associados à qualidade da energia eléctrica são: transitórios, harmónicos, variações de curta e longa duração da tensão (*sags*, *swells*, interrupções, subtensões e sobretensões), desequilíbrios de tensão, distorções nas formas de onda, flutuações de tensão, variações de frequência [1-2].

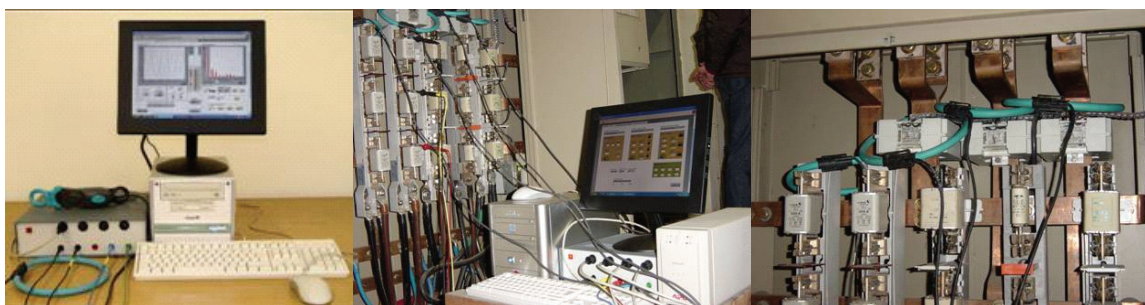
Os monitorizadores de qualidade de energia são os equipamentos que melhor podem detectar os problemas dos sistemas eléctricos. Como estes equipamentos são usualmente bastante caros, ou quando são de custo mais acessível são limitados na identificação de alguns problemas, optou-se por desenvolver um monitorizador de qualidade de energia que satisfizesse a maioria dos requisitos pretendidos.

Neste artigo são apresentados alguns exemplos de resultados de monitorização de estudos realizados em quadros gerais de algumas indústrias de vários sectores, tais como têxtil, farmacêutica, hospitalar e serviços.

2. Descrição do Sistema Desenvolvido

A aquisição dos sinais de tensão e de corrente é feita por sensores conectados a uma placa de aquisição de dados. As aplicações de *software* foram desenvolvidas em *LabVIEW*TM e funcionam no sistema operativo *Windows* num PC comum.

Basicamente o sistema permite monitorizar e analisar diversos parâmetros relacionados com a qualidade da energia eléctrica, calcular potências e energias consumidas, mostrar gráficos e calcular grandezas eléctricas baseadas em valores *True RMS*, efectuar análise harmónica, registar dados e produzir relatórios. O sistema adquire dados continuamente, e armazena em ficheiros os eventos que resultaram das anomalias detectadas no sistema eléctrico onde é feita a monitorização. Diversos parâmetros relacionados com a qualidade da energia e a gestão das potências podem ser analisadas em 6 aplicações diferentes: “Scope and THD”, “Strip Chart”, “Wave Shape”, “Sags and Swells”, “Classical Values” e “p-q Theory”[3]. Os relatórios podem ser produzidos no formato *HTML* e *Word*, e podem ser disponibilizados para visualização na Internet, usando um *web browser*. A Fig. 1 mostra fotografias do sistema de monitorização desenvolvido.



(a) Monitorizador desenvolvido (b) Monitorizador em quadro eléctrico (c) Sensores de corrente no quadro

Fig. 1-Monitorizador de Qualidade de Energia Eléctrica desenvolvido.

As principais características do monitorizador desenvolvido são:

- Aquisição de 4 sinais de tensão e 4 sinais de corrente.
- Análise ciclo a ciclo, e programação do número de amostras por ciclo.
- Cálculo das potências aparente, activa e reactiva, energia activa e “energia” reactiva, factor de potência total e de deslocamento, e desequilíbrios das tensões e correntes.
- Análise harmónica dos sinais de corrente e de tensão.
- Visualização dos diagramas fasoriais das tensões, correntes e impedâncias.
- Sistema modular que permite futuras expansões e mudanças de configuração.
- Geração automática de relatórios em *HTML* e *Word*.
- Grande capacidade de armazenamento e de processamento de dados.
- Configuração das monitorizações e recolha de dados remotamente via *web*.
- Interface amigável com o utilizador (através de janelas e sistema “*point and click*”).

2.1 Descrição do *Hardware*

O sistema desenvolvido tem por base um PC comum com sistema operativo *Windows XP* e uma carta de aquisição de dados genérica (MIO-PCI-6024E) da *National Instruments*. Para a interface entre a rede eléctrica e a carta de aquisição de dados foi desenvolvido um módulo de *hardware*, composto por 4 sensores de tensão de efeito Hall (LEM LV25-P), por 4 sensores de corrente baseados no princípio de Rogowski (LEM-FLEX® - RR3020, com escalas de 30 A, 300 A e 3000 A) e por um circuito para acondicionamento dos 8 sinais medidos (V_{an} , V_{bn} , V_{cn} , V_{ng} , I_a , I_b , I_c e I_n). Os sensores de corrente permitem efectuar as medições sem interromper o circuito, o que é bastante útil em ambientes industriais.

As principais características da carta de aquisição de dados utilizada são: 16 canais analógicos (8 em modo diferencial), resolução de 12 bits, taxa de amostragem de 200 ksamples/s, 8 linhas digitais de I/O, DMA, Interrupções ou I/O, tamanho da FIFO de 512 amostras.

2.2 Descrição do Software

O sistema desenvolvido é constituído por várias aplicações para a monitorização e análise de diversos parâmetros relacionados com qualidade da energia eléctrica, cálculo das potências consumidas, visualização e manipulação de sinais, recorrendo a instrumentos virtuais. Essas aplicações de *software* foram desenvolvidas utilizando a linguagem de programação gráfica *LabVIEW™* da *National Instruments*. A Fig. 2 mostra os ambientes gráficos das principais aplicações desenvolvidas para monitorização da qualidade da energia eléctrica.

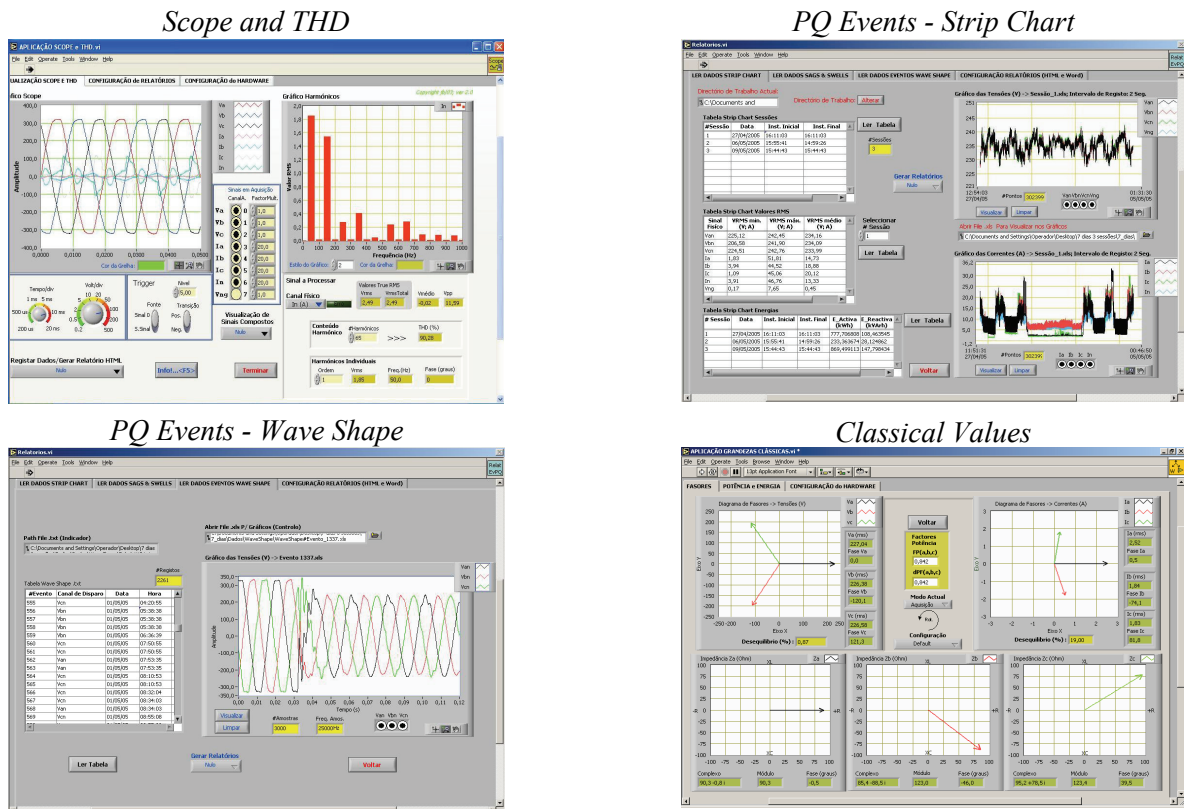


Fig. 2- Ambientes gráficos das principais aplicações desenvolvidas.

2.2.1 Aplicação “PQ Events” (Power Quality)

Esta aplicação executa, em modo contínuo, a aquisição dos 3 sinais das tensões fase-neutro (V_{an} , V_{bn} e V_{cn}), do sinal de tensão neutro-terra (V_{ng}), dos 3 sinais das correntes de fase (I_a , I_b e I_c) e do sinal da corrente de neutro (I_n). Em simultâneo é executado todo o processamento necessário para elaborar os *strip charts*, detectar *sags* e *swells*, e anomalias do tipo *wave shape* (anomalias nas formas de onda), sendo a análise efectuada todo o ciclo a ciclo, com 500 amostras por ciclo. Toda a informação importante é registada em ficheiro. Os períodos de monitorização do sistema eléctrico podem ser programados (de 1 minuto a 30 dias). No final das sessões o sistema pode enviar automaticamente dados via e-mail para vários destinatários.

2.2.2 Aplicação “Classical Values”

A designação “Classical Values” deve-se ao facto de nesta aplicação serem analisadas as grandezas eléctricas que tipicamente são tratadas nos sistemas eléctricos. Estas grandezas são: valores eficazes (*True RMS*) e ângulos de fase das tensões e correntes, impedâncias (por fase), desequilíbrios de tensão e de corrente, factor de potência total e de deslocamento, factor de distorção, potências (activa, aparente, reactiva e harmónica)

por fase e total, energia activa (kWh) e “energia” reactiva (kVARh). Os fasores e impedâncias são apresentados *online* (numericamente e em vectores), sendo calculados com a componente fundamental dos sinais. Uma das características mais interessantes desta aplicação consiste nos seus dois modos distintos de funcionamento: modo “Simulação” e modo “Aquisição”. No modo “Simulação” todas as grandezas em jogo são calculadas e visualizadas tendo como base sinais gerados em *LabVIEW*. Os parâmetros destes sinais (amplitude, frequência, e fase) são configurados pelo utilizador, podendo ser introduzidas as componentes harmónicas pretendidas para cada sinal. No modo “Aquisição” o tratamento é o mesmo, mas com sinais medidos através da carta de aquisição de dados, sendo portanto utilizados sinais reais.

2.2.3 Aplicação “Scope and THD”

Esta aplicação é um exemplo típico de instrumentação virtual, pois “imita” um osciloscópio digital com as suas principais funções básicas: base de tempo, escala vertical, *trigger* (*slope*, *level* e *source*) e *readouts* (frequência dos sinais, valores *True RMS*, valor DC, valor de pico a pico, etc). Tem a possibilidade de visualizar até 8 sinais simultaneamente, com uma taxa de amostragem de 25 kHz por canal. A este instrumento foi adicionada a função de cálculo e visualização do THD (*Total Harmonic Distortion* – distorção harmónica total), incluindo as informações para cada harmónico do sinal (amplitude, frequência e fase). Tem também a capacidade de gerar relatórios no formato *HTML* e *Word*, registando dados (amostras dos sinais e componentes harmónicas) em ficheiros que podem ser manipulados directamente por outras ferramentas executadas em *Windows*, como por exemplo o *Matlab* e o *Excel*.

3. Resultados das Monitorizações em Instalações Industriais

A monitorização contínua fornece os dados necessários para determinar como e onde ocorrem os problemas de qualidade de energia eléctrica, conduzindo a uma compreensão de como podem ser evitados ou minorados. Além disso, a análise do comportamento das instalações, através do comportamento dos consumos, do factor de potência e de outros parâmetros, fornecem dados úteis para determinar se as infra-estruturas actuais são adequadas, e para o planeamento de eventuais expansões futuras. No procedimento adoptado nas monitorizações, inicialmente faz-se uma avaliação e registo dos dados de todos os sinais usando a aplicação “*Scope and THD*”, para que a configuração da monitorização e os ajuntes das escalas dos sensores sejam adequados. A seguir são apresentados alguns dos sinais recolhidos com esta aplicação. As figuras 3 a 12 apresentam os 8 sinais (4 tensões e 4 correntes) adquiridos pelo equipamento e respectivos conteúdos harmónicos.

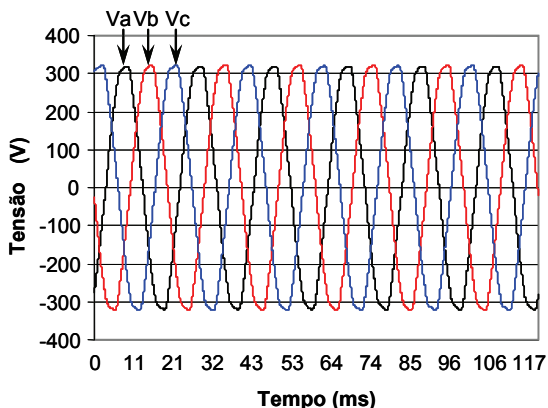


Fig. 3 – Tensões nas 3 fases.

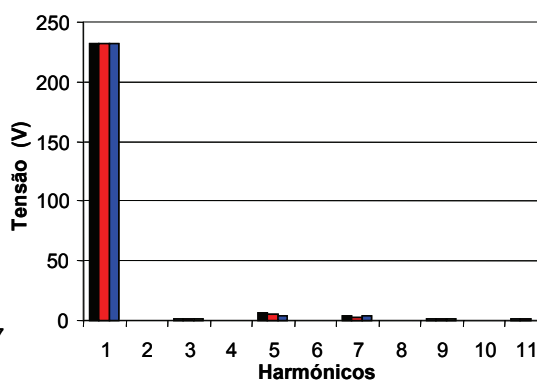


Fig. 4 - Harmónicos das tensões nas 3 fases.

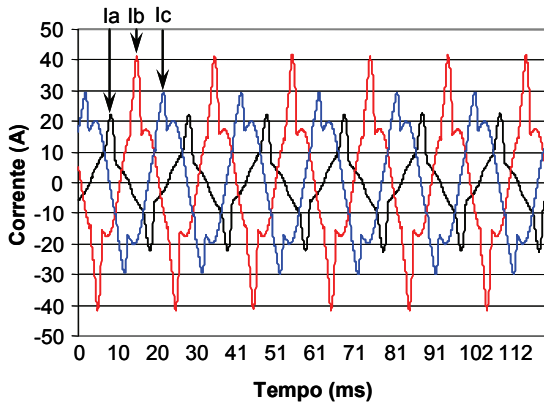


Fig. 5 - Correntes nas 3 fases.

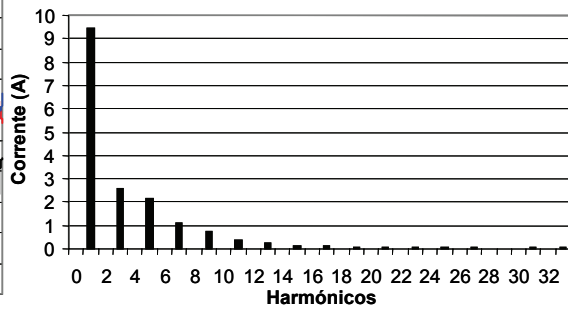


Fig. 6 - Harmônicos da corrente na fase a.

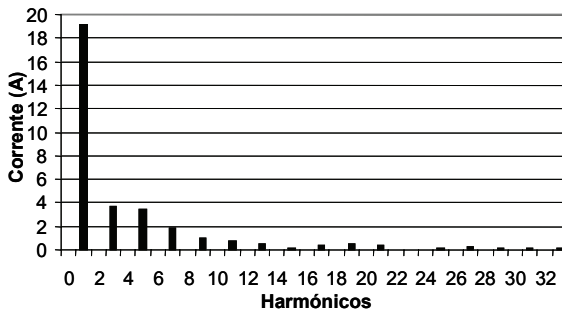


Fig. 7 - Harmônicos da corrente na fase b.

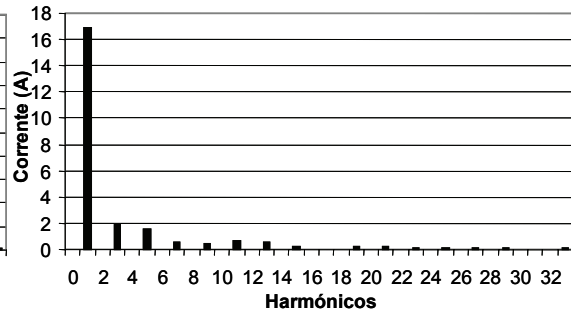


Fig. 8 - Harmônicos da corrente na fase c.

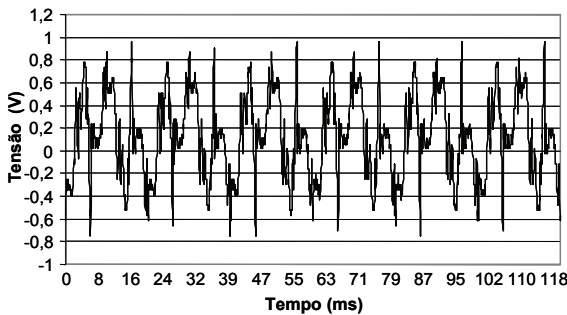


Fig. 9 - Tensão neutro-terra.

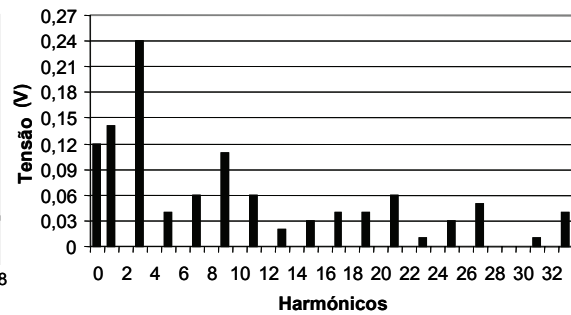


Fig. 10 - Harmônicos da tensão neutro-terra.

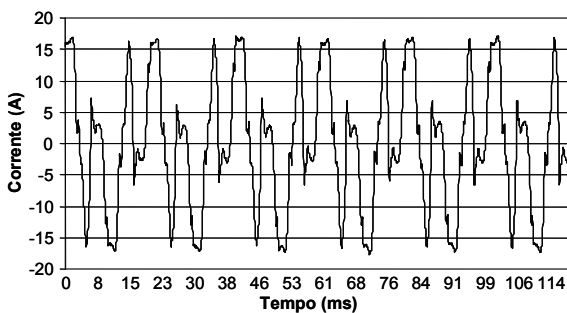


Fig. 11 - Corrente de neutro

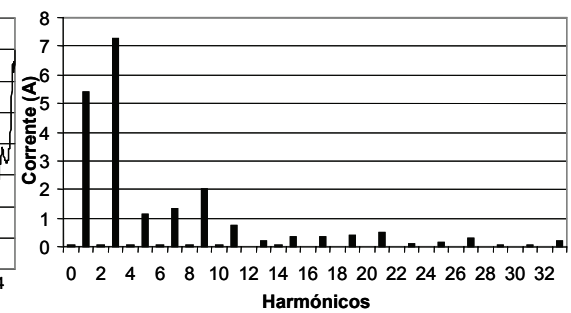


Fig. 12 - Harmônicos da corrente de neutro.

As figuras 13 e 14 apresentam exemplos de registos dos problemas de qualidade de energia eléctrica adquiridos com recurso ao equipamento desenvolvido, usando a aplicação “PQ Events”. Estes eventos registados podem causar o mau funcionamento de equipamentos mais sensíveis que estão ligados à instalação. As figuras 15 e 16 apresentam a tendência dos valores eficazes (*True RMS*) das tensões e das correntes ao longo de um período de monitorização. Deste modo, é possível fazer um estudo do perfil das cargas em cada instalação industrial, caracterizando as instalações ao nível de consumos, com vista a sua racionalização, principalmente em horários não produtivos.

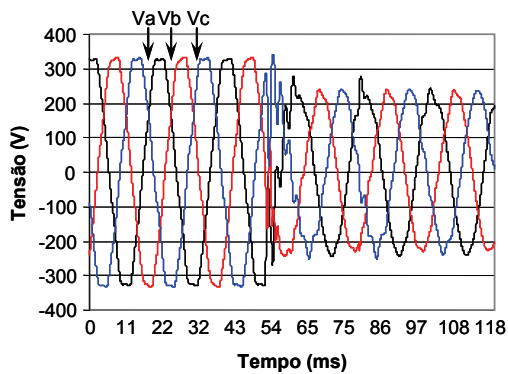


Fig. 13 - Registro de um sag nas 3 tensões.

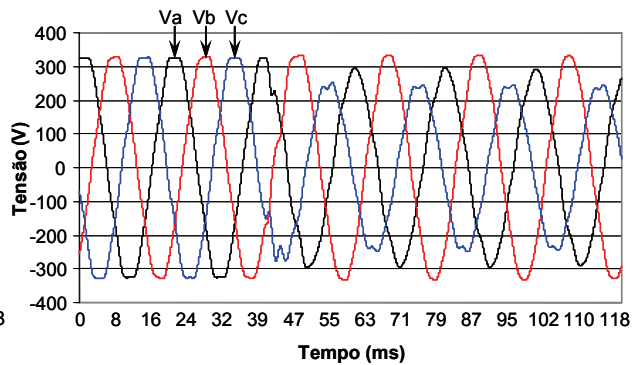


Fig. 14 - Registro de um sag em 2 das 3 tensões.

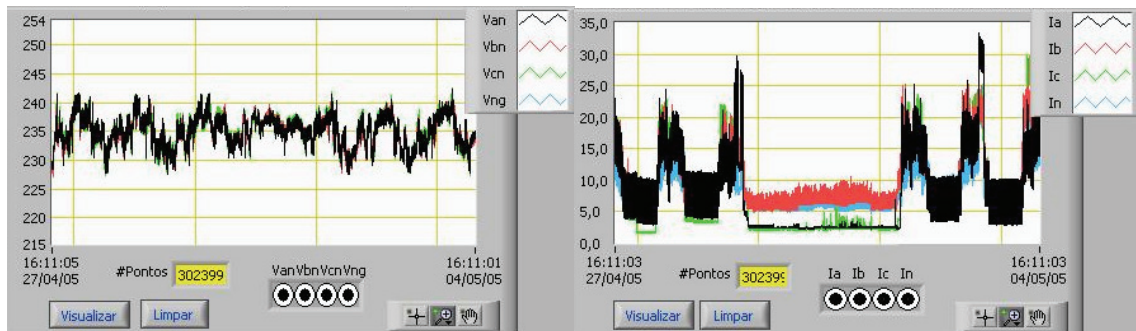


Fig. 15 - Valores eficazes das tensões.

Fig. 16 - Valores eficazes das correntes

4. Conclusões

Este artigo mostra que, utilizando uma plataforma de custo reduzido é possível implementar um equipamento monitorizador com as funcionalidades adequadas que o tornam útil para realizar estudos de Qualidade de Energia Eléctrica em ambientes industriais. O estudo do perfil das cargas e de seus consumos, que este equipamento também propicia, é também útil, pois a maioria das empresas não possuem este tipo informação. Por vezes alguns dos problemas de Qualidade de Energia Eléctrica podem ser eliminados ou minorados através de acções simples, com grandes vantagens económicas para as empresas, mas para tal são indispensáveis os estudos efectuados por monitorizadores de qualidade de energia eléctrica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia), financiadora do Projecto POCTI/ESE/41170/2001.

Referências

- [1] IEEE Standard 1159-1995, "Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", 1995.
- [2] IEC 61000-3-2, "Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment Input Current ≤ 16 A per phase)", Amendment 2, 1998.
- [3] João Afonso, Carlos Couto, Júlio Martins, "Active Filters with Control Based on the p-q Theory", IEEE Industrial Electronics Society Newsletter, vol. 47, nº 3, Set. 2000, pp. 5-10.
- [4] José Batista, João L. Afonso, and Julio S. Martins, "Low-Cost Power Quality Monitor Based on a PC", ISIE'2003 - IEEE International Symposium on Industrial Electronics Rio de Janeiro, Brasil, 9-11 Junho 2003.
- [5] José C. C. Costa, Ricardo L. Pregitzer, Tiago N. Sousa, José Batista, João L. Afonso, "A Case of Power Quality Assessment Using a Developed Power Quality Monitor", CEE'05 – IEEE 1st International Conference on Electrical Engineering Coimbra, Portugal, 10-12 Out. 2005.