

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Electrotécnica
Secção de Electrotécnica e Máquinas Eléctricas

Eficiência Energética
Sistema de Monitorização de Consumos de Energia

Por

João Carlos Amador Guerreiro

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientadores: Professor João Francisco Martins

Eng. Pedro Miguel Ribeiro Pereira

Lisboa

2009

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, aos meus orientadores Prof. João Francisco Martins e Eng. Pedro Miguel Ribeiro Pereira pela credibilidade, apoio e disponibilidade, bem como todos os conselhos e sugestões de fundamental importância para a realização deste trabalho, mostrando-me que não há limites para a criatividade.

Muito obrigado pela dedicação e amizade.

Ao Departamento de Engenharia Electrotécnica e em particular à Secção de Electrotecnia e Máquinas Eléctricas, pelos meios disponibilizados e total apoio para a realização deste trabalho.

À Farmácia São Pedro por ter apoiado este projecto desde inicio, patrocinando parte do material nele envolvido, um bem-haja.

Aos meus amigos de infância Francisco Lourenço, Sérgio Baleia, Pedro Vieira, Mário Portela, Décio Alegria, André Soares a quem dedico este trabalho com grande amizade, pois sempre me apoiaram e motivaram ao proporcionarem bons momentos na sua companhia de forma a não desistir, um grande abraço.

Dedico este trabalho aos meus pais e ao meu irmão que sempre me apoiaram em tudo na minha vida, apostaram na minha formação acreditando sempre que seria capaz de alcançar os meus objectivos.

Finalmente, quero agradecer com todo o carinho a pessoa que sempre esteve junto a mim e me ajudou a alcançar este projecto de vida, Diana Magno Nunes, que sempre me acompanhou, nos momentos fáceis, difíceis, alegres e tristes, mostrando-me que o amor e a amizade são elementos deveras importantes na vida, obrigado por fazeres parte da minha.

Quero agradecer de forma muito carinhosa aos meus queridos avós, que por muita pena minha não podem ver o seu maior desejo concretizado, mas bem sei que estão a olhar por mim, um grande beijo para vocês, tudo aquilo que hoje sou devo-o a vocês...

À Diana e a nossa futura vida em comum...

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Índice	vi
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Glossário	xii
Resumo	xiv
Abstract	xv
Capítulo I - Introdução.....	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objectivos	3
1.2.1. Objectivos Gerais.....	3
1.2.2. Objectivos Específicos	3
1.3. Estrutura da Dissertação	4
Capítulo II – Monitorização de Consumos.....	5
2.1. Definição e Conceitos	5
2.2. Metodologia de Trabalho	6
2.3. Estado da Arte	8
2.3.1. Sistemas de Energia em Grandes Complexos	8
2.3.2. Sistemas Computacionais Existentes	9
2.3.3. Discussão dos Sistemas Existentes.....	12
Capítulo III – Análise de Consumos em Grandes Complexos	15
3.1. Visão Conceptual do Sistema	15
3.2. Configuração da Rede.....	18
3.3. Aplicação <i>ONLINE</i>	25
3.3.1. Características Técnicas.....	25

3.3.2. Funcionalidades.....	25
3.4. Aplicação <i>LOGGER</i>	25
3.4.1. Características	26
3.4.2. Funcionalidades.....	26
Capítulo IV – Implementação	28
4.1. Tecnologias	28
4.2. Energy Monitor.....	34
4.2.1. Aplicação <i>ONLINE</i>	35
4.2.2. Aplicação <i>LOGGER</i>	40
4.3. Especificação e Utilização.....	43
Capítulo V – Conclusões	46
5.1. Síntese das Aplicações Informáticas e Contribuições	46
5.2. Perspectivas de Trabalho Futuro.....	48
Referências	49
Referências Bibliográficas.....	49
Anexo A: Manual de Instalação / Personalização	50
Instalação.....	50
Personalização	52

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Visão global do consumo de energia do Energy Lens [3]	26
Fig. 2.2 – Solução sem fio implementada pela Qenergia [5]	28
Fig. 2.3 - Interface gráfica “Optimal Monitoring” [6]	29
Fig. 3.1 – Visão global do sistema ENERGY MONITOR	32
Fig. 3.2 – Ligação de várias redes de analisadores locais a um servidor	34
Fig. 3.3 - Períodos Tarifários estabelecidos pela EDP	35
Fig. 3.4 - Esquema da rede de comunicação implementada	36
Fig. 3.5 – Esquema de comunicação utilizando a internet	36
Fig. 3.6 – Modelo OSI	37
Fig. 3.7 - Comunicação entre mestre e escravo no protocolo Modbus	38
Fig. 3.8 – Formato de mensagem Modbus	38
Fig. 3.9 – Conversor (RS-485/Ethernet) marca LUMEL	39
Fig. 3.10 – Analisador de energia UPT210 marca ALGODUE	40
Fig. 3.11 – Transformador de corrente relação 50:5	41
Fig. 4.1 – Função de início de comunicação com os dispositivos utilizando o protocolo ModBus	46
Fig. 4.2 – Função de fim de comunicação com os dispositivos utilizando o protocolo ModBus	47
Fig. 4.3 – Interface de configuração da ligação	47
Fig. 4.4 – Função de Status do sistema	48
Fig. 4.5 – Janela de Status (Aplicação ONLINE)	48
Fig. 4.6 – Comunicação Modbus Mestre-Escravo	49
Fig. 4.7 – Envio de mensagem Modbus do mestre para o escravo	49
Fig. 4.8 – Interface de Leitura (Aplicação ONLINE)	49
Fig. 4.9– Configuração da rede Modbus normalmente utilizada	50
Fig. 4.10 - Configuração da rede Modbus adaptada à monitorização de grandes complexos	50
Fig. 4.11 – Interface da aplicação ONLINE desligada	52
Fig. 4.12 – Interface da aplicação ONLINE ligada	55
Fig. 4.13 – Diagrama de carga efectuado pela aplicação ONLINE	56

Fig. 4.14 – Base de dados criada pela aplicação ONLINE ao monitorizar QGBT do DEE	57
Fig. 4.15 – Aplicação LOGGER desligada	58
Fig. 4.16 – Aplicação LOGGER ligada	59
Fig. 4.17 – Formato do ficheiro de registo criado diariamente para cada analisador de energia	60
Fig. 4.18 – Aplicação de teste de comunicação	61
Fig. 4.19 – Aplicação de teste de comunicação com protocolo Modbus	62
Fig. 4.20 – Exemplo de teste com uma carga resistiva monofásica	62
Fig. 4.21 – Bases de dados das aplicações desenvolvidas	63
Fig. 4.22 – Aplicação ONLINE	64
Fig. 4.23 – Aplicação LOGGER	64
Fig. A - Passagem do Protocolo por referência em VBA	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tabela diária de energia consumida [3]	27
Tabela 2.2 – Tabela de comparação dos sistemas existentes	31

GLOSSÁRIO

Energy Monitor – Sistema constituído por *software* e *hardware* que possibilita a monitorização de energia em grandes complexos. O *Software* será composto por duas aplicações denominadas respectivamente *ONLINE* e *LOGGER*. Este *Software* permite analisar diversas características eléctricas e também guardar o valor da energia activa e reactiva, de cada analisador ligado à rede, para os diferentes períodos tarifários. O *Hardware* é constituído por um conjunto de analisadores de energia eléctrica, transformadores de corrente e conversores de dados que implementam a rede de comunicação do sistema de monitorização.

Grandes Complexos – Edifício de grande dimensão (Centro comercial, faculdade, tribunal, ...) ou conjunto de edifícios/departamentos que formam uma entidade que podem ou não estar centralizados.

Grupos Electrogéneos – Geradores de energia eléctrica que para o efeito transformam combustível fóssil em energia eléctrica. As potências normalmente andam entre os 6 e os 4000 kVA (Ex: Grupel) dependendo da aplicação em questão.

Microsoft Office – Microsoft Office é um conjunto de aplicações que contém programas tais como processador de texto, folha de cálculo, Base de dados, apresentação gráfica, gestor de tarefas, correio electrónico e contactos.

VBA (*Visual Basic for Applications*) - Visual Basic for Applications (VBA) é uma implementação do Visual Basic da Microsoft incorporada em todos os programas do Microsoft Office, o VBA substitui e estende as capacidades de anteriores linguagens de programação de macros específicas para as aplicações e pode ser usado para controlar a quase totalidade dos aspectos da aplicação anfitriã, incluindo a manipulação de aspectos do interface.

Microsoft Excel - É um programa de cálculo produzido pela Microsoft para computadores que utilizam o sistema operativo Microsoft Windows e também para computadores Macintosh da Apple. Apresenta uma interface intuitiva e ferramentas de cálculo e construção de gráficos. Faz parte do conjunto de software disponibilizado no pacote Microsoft Office.

RESUMO

Com a necessidade de monitorização dos consumos de energia eléctrica em grandes complexos pretende-se projectar um sistema, designado “Energy Monitor”, que permita monitorizar a energia de vários consumidores descentralizados e agregar todas as informações recolhidas num único sítio, evitando assim a necessidade de efectuar leituras locais. Desta forma, para além de não ser necessário destacar um funcionário para efectuar essas mesmas leituras, o Energy Monitor terá disponíveis duas aplicações: uma aplicação – designada “*ONLINE*” – que apresenta os parâmetros eléctricos que estão a ser recolhidos por um qualquer analisador de energia eléctrica do sistema, efectua diagramas de carga para posterior análise, envia relatórios para correio electrónico, regista os parâmetros eléctricos de um intervalo de tempo num ficheiro e disponibiliza também a funcionalidade de impressão de todas as informações inerentes a cada leitura efectuada; uma segunda aplicação – designada “*LOGGER*” – que permite o registo da energia activa e reactiva consumida por cada equipamento/carga. O Energy Monitor suporta um número ilimitado de analisadores de energia e é completamente personalizável.

ABSTRACT

There are various possibilities to solve the large energy consumption problem in large complexes. In this way was decided to develop a system that could monitor the energy consumption without the necessity of human intervention. The implemented system, called "Energy Monitor", has the capabilities of monitoring the energy consumption of several decentralized electrical networks, centralizing all information in one place. Analyzes the energy consumptions (active and reactive energies), for automatic adjustment of charging periods and several other electrical parameters, such as voltage, current intensity, frequency, power factor...

This system has two available applications: *ONLINE* and *LOGGER*. The *ONLINE* application displays "*online*" the electrical parameters collected for each analyzer, allowing graphic and printing facilities, sends reports to email accounts and keeps the recorded data in a file.

The *LOGGER* application records the active and reactive energy consumption recorded by all of the electrical energy analyzers in the network. The system supports an unlimited number of analyzers and is fully customizable.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

Sumário - Este trabalho contempla o desenvolvimento de um sistema de monitorização de energia eléctrica designado por Energy Monitor. É também feita uma análise crítica ao consumo energético excessivo que se faz sentir no mundo nos dias de hoje.

Os combustíveis fósseis, nomeadamente o petróleo, são um recurso natural finito, a sua disponibilidade na natureza está comprometida devido à exploração que tem sido feita de forma inconsciente, tornando-o cada vez mais escasso. Esta escassez provoca inflação do preço deste recurso.

Grandes complexos apresentam normalmente consumos de energia extremamente elevados, sendo necessário controlar os consumos de energia. É quase impossível controlar o consumo energético de centenas de pessoas que por dia frequentam um complexo desta natureza, tornando-se fundamental a monitorização por forma a reduzir os consumos de energia. Através dos dados recolhidos será possível criar acções de consciencialização e ajustar o contrato de energia/potência contratada da melhor forma possível.

1.1. MOTIVAÇÃO

É necessário adaptar o actual paradigma atrás retratado a uma nova realidade, sendo necessárias soluções para resolver o problema de consumo energético excessivo.

Para fins de contextualização a Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) tem vários departamentos com vários centros de custo associados. Este complexo serviu de suporte a toda a instalação e desenvolvimento do presente sistema, servindo de referência para esta dissertação.

O processo de gestão de energia deve ser encarado como um processo de várias etapas. A análise da factura energética é uma das etapas imprescindíveis para que seja possível efectuar uma optimização dos consumos e dos contratos de aquisição de energia.

Para serem atribuídos encargos associados aos consumos de energia efectuados, é necessária uma análise de consumos por centros de custo, através do conhecimento do consumo de energia por departamento, operação ou equipamento.

É necessário localizar consumos anómalos ou evitáveis, de forma a proceder à eliminação ou minimização de encargos associados a situações anómalas que derivam de avaria, desconhecimento ou má utilização de recursos, sendo isso possível através da aquisição, análise e comparação de dados energéticos que permitam a verificação da eficiência de um

departamento ou de um equipamento por comparação com outros de funcionamento semelhante.

É igualmente importante efectuar o registo histórico dos vários consumos e fazer o planeamento de intervenções/alterações necessárias de forma a otimizar esses mesmos consumos. Estas acções são imprescindíveis para uma consequente redução do custo da factura energética a curto, médio e longo prazo.

Todo este processo não pode ser efectuado de forma directa, é necessário comparar consumos, custos e resultados com outros pontos de consumo análogos, permitindo uma rápida identificação, divulgação e adopção das melhores medidas e práticas a adoptar.

O desenvolvimento de um sistema que permita aos responsáveis pela instalação definir alertas automáticos, através de envio de mensagens de correio electrónico, relativas aos consumos anuais, mensais, semanais ou até mesmo diários torna-se uma ferramenta útil para permitir uma redução dos consumos existentes e induzir alterações comportamentais nos utentes. Um sistema com estas características apresenta ainda vantagens ambientais uma vez que a redução dos consumos de energia significa menos emissões de dióxido de carbono para a atmosfera e vantagens financeiras para a gestão do edifício, associadas à redução dos custos de energia.

1.2. OBJECTIVOS

1.2.1. OBJECTIVOS GERAIS

O objectivo principal deste trabalho é elaborar um sistema computacional a ser utilizado em grandes complexos que permita não só o registo dos valores da energia activa/reactiva medidos em cada um dos analisadores de energia eléctrica instalados, mas também a analisar as grandezas eléctricas características de um sistema de energia.

Com desenvolvimento deste sistema pretende-se ultrapassar as dificuldades que surgem quando se pretende monitorizar a energia em grandes complexos, onde é complicado ter a percepção exacta da distribuição dos consumos energéticos.

A utilização de um sistema deste tipo possibilita uma criteriosa análise da distribuição do consumo de energia a fim de avaliar possíveis intervenções. Através do conhecimento desta distribuição de consumos pode-se então tentar reduzir os consumos, minimizar picos e desperdícios afectando os custos envolvidos aos diferentes departamentos, fornecendo indicações precisas sobre a validade das soluções apresentadas (tarifário) e possibilitando a verificação da exactidão dos valores debitados pela empresa de distribuição de energia eléctrica.

1.2.2. OBJECTIVOS ESPECÍFICOS

O sistema deverá dar resposta aos seguintes objectivos específicos:

- Análise *online* dos parâmetros eléctricos nos vários pontos de consumo;
- Registo da energia activa e reactiva nos vários pontos de consumo;
- Sistema de baixo custo.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada em 5 capítulos, incluindo o presente capítulo de Introdução.

No capítulo 2 é apresentada a monitorização de consumos, descreve-se quais os conceitos relacionados com a monitorização, quais os tipos de monitorização desenvolvidos, quais os objectivos dos mesmos, mas também as suas definições e toda a apresentação e método de trabalho utilizado para o desenvolvimento desta parte do trabalho. Faz-se também um enquadramento dos sistemas existentes no mercado face ao sistema desenvolvido, realçando quais as principais diferenças e vantagens deste sistema.

No capítulo 3 é feita a descrição de todo o sistema desenvolvido. São descritas as suas funcionalidades e modos de operação. Como o principal objectivo da solução apresentada é a análise de consumos energéticos em grandes complexos, descrevem-se as configurações de rede que têm de ser efectuadas, fazendo-se uma descrição detalhada de cada uma das aplicações que constituem o Energy Monitor.

O capítulo 4 é dedicado à descrição de todas as fases de implementação. Apresenta-se detalhadamente as vantagens da existência de um sistema de monitorização, abordando todas as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do Energy Monitor. Por fim, são apresentados os resultados obtidos com o sistema implementado, discutindo o seu comportamento de acordo com as funcionalidades por ele oferecidas através dos testes efectuados em laboratório para calibração e ajuste do mesmo.

Finalmente no capítulo 5 são apresentadas as conclusões e as linhas de investigação futuras, complementares ao trabalho apresentado.

CAPÍTULO II – MONITORIZAÇÃO DE CONSUMOS

Sumário - O acesso à energia tem um custo cada vez maior, sendo notória a necessidade de se monitorizar os consumos energéticos.

2.1. DEFINIÇÃO E CONCEITOS

Qualquer negócio para se tornar competitivo exige que todos os custos sejam controlados e optimizados, isto é, todos os recursos têm que ser geridos, incluindo os energéticos. Ao seguir com atenção uma factura energética podem ser estabelecidos objectivos de contenção e/ou redução das despesas, de forma a optimizar a afectação dos recursos tentando dar resposta a questões simples, como: ONDE é utilizada a energia? COMO é utilizada? QUANDO é utilizada?

O distribuidor ou o gestor de um qualquer grande complexo efectua geralmente leituras mensais da energia e só a factura cerca de 15 dias depois. Isto é, podem decorrer mais de 6 semanas até que o cliente tenha conhecimento dos consumos ocorridos e possa detectar eventuais consumos anómalos.

O ciclo de funcionamento da larga maioria das instalações não é mensal, com os consumos a variarem de dia para dia. Assim, o valor mensal dos consumos num dado local não chega para conhecer quando estes foram efectuados, nem como foram efectuados.

Para gerir de modo eficiente os recursos energéticos, é importante conhecer a evolução dos consumos ao longo dos ciclos diários e semanais de funcionamento das instalações.

Para grandes complexos, onde existem inúmeros pontos de contagem de energia, a solução manual tradicional tem um custo elevado pois exige pessoal que faça o “percurso” dos contadores, registe as leituras e posteriormente as introduza numa aplicação informática que por fim procede à sua análise. O sistema a implementar permite que esta tarefa seja realizada de modo automático, com a frequência desejada e sem erros de leitura ou análise, tornando-se assim uma solução simples, económica e eficaz.

2.2. METODOLOGIA DE TRABALHO

Para desenvolver um sistema de monitorização de energia é necessário definir todas as etapas pelas quais o trabalho terá de passar para que se torne um sistema que dê resposta aos objectivos delineados.

Análise

A fase inicial do trabalho foi dedicada à pesquisa de informação relacionada com protocolos, equipamentos e ficheiros de configuração necessários. Só assim foi possível traçar o perfil completo a alcançar com este trabalho. Estando o objectivo delineado tornou-se mais fácil perceber qual a metodologia a adoptar para implementar um sistema de monitorização de consumos de energia aplicado a grandes complexos. Após a análise e discussão sobre vantagens/desvantagens e limitações de utilização dos protocolos e equipamentos disponíveis no mercado, foi decidido que o protocolo a utilizar seria o protocolo Modbus RTU [1]. O factor decisivo foi o custo que os analisadores que suportam este protocolo têm face aos restantes (Profibus, FieldBus, Rede CAN), associado à sua simplicidade de utilização e implementação. Foi necessário adquirir um conhecimento profundo das grandezas que os equipamentos permitem analisar, pois só assim foi possível avançar para a fase de desenvolvimento das aplicações que vão dar suporte ao sistema desenvolvido.

Escolha de Material

Neste caso os equipamentos adoptados foram os analisadores da marca Algodue modelo UPT210 e conversores da marca Lumel modelo PD8 (Ethernet-RS485). A escolha desta solução deve-se ao facto de ser necessário contemplar alguns requisitos mínimos para que a aplicação seja viável: o equipamento de análise deve ter uma porta de comunicação RJ485 de forma a poder ser ligado ao computador onde estão a ser executadas as aplicações desenvolvidas, ser completamente compatível como o protocolo Modbus RTU e ser capaz de efectuar leituras em intervalos de 5s sem erros de comunicação numa rede com pelo menos dois analisadores (caso prático utilizado). Este último requisito é importante de forma a apresentar um registo suficientemente rico em informação para posterior análise. O equipamento ao ter disponível uma porta de comunicação permite que sejam recolhidos valores dos registos, sendo guardados temporariamente os valores recolhidos da carga em análise. Para se conseguir efectuar análises *online* é relevante o tempo que demora um analisador a obter uma leitura completa dos parâmetros eléctricos, estabeleceu-se um tempo mínimo de 5s entre leituras quando implementados numa rede de pelo menos dois analisadores.

Escolha da Tecnologia

Estando o protocolo estabelecido e os equipamentos escolhidos, foi feita uma abordagem sobre o software de desenvolvimento a utilizar. Foi escolhida a tecnologia VBA (Visual Basic for Applications) visto ter uma base de dados associada (Presente no *Microsoft Excel*) fácil de trabalhar e existir facilidade de passagem do protocolo Modbus como referência neste ambiente. Para além disso o VBA tem uma grande capacidade de personalização e expansão.

Outra vantagem é o facto de esta tecnologia (VBA) estar presente na maior parte dos computadores, pois faz parte do conjunto de aplicações disponíveis no pacote denominado de *Microsoft Office*, facilitando assim todo o processo de instalação das aplicações a desenvolver.

Desenvolvimento das Aplicações

No processo de desenvolvimento da aplicação foi tida em conta a complexidade das interfaces. Estas teriam de ser simples, as aplicações têm de ser completamente expansíveis (tanto em número de equipamentos, como funcionalidades) e flexíveis, de forma a poderem ser ajustadas a cada situação.

Foram desenvolvidas duas aplicações: *ONLINE* e *LOGGER*.

A aplicação denominada "*ONLINE*" tem como intuito possibilitar ao utilizador a visualização dos parâmetros eléctricos lidos por cada analisador de energia, mostrando-os na janela criada para o efeito de forma a este ter a noção das mesmas. A segunda aplicação – *LOGGER* – destina-se a efectuar o registo dos valores de energia activa e reactiva que o analisador adquire ao longo do tempo. Com estes dados é possível cruzar informação com a presente na factura emitida pelo fornecedor de energia (EDP).

Testes

Após dadas como concluídas as anteriores etapas, será necessário efectuar vários ensaios/testes na comunicação, registo e análise dos valores obtidos através do sistema, pois só assim o trabalho pode ser dado por concluído.

2.3. ESTADO DA ARTE

Os consumos de energia num complexo de grandes dimensões são por norma muito elevados, torna-se perceptível que consumos de tal ordem devem ser controlados de forma a se proceder a um possível ajuste/diminuição dos mesmos. Através do seguimento comportamental dos consumos é possível, depois de uma análise detalhada, ajustar tarifas de facturação e até detectar consumos extraordinários. Sem este tipo de sistemas de monitorização tal afigura-se como uma tarefa praticamente impossível, dado que as leituras são efectuadas em largos períodos de tempo, tornando assim tardia a intervenção quando necessária.

2.3.1. SISTEMAS DE ENERGIA EM GRANDES COMPLEXOS

Nos dias de hoje a humanidade enfrenta enormes desafios no que concerne à energia eléctrica, nomeadamente relacionados com a garantia de fornecimento desta a preços convenientes.

No caso particular dos sistemas de distribuição de electricidade os avanços tecnológicos e as consequências da reestruturação dos sistemas de distribuição de energia têm sido particularmente significativos. A tradicional actividade de distribuição foi, em consequência da reestruturação dos sistemas de distribuição de energia, desmembrada num conjunto de actividades separadas, nomeadamente na actividade de distribuição de electricidade e na actividade de comercialização de electricidade. Novas actividades estão a emergir impulsionadas quer pelos desenvolvimentos tecnológicos quer pelas reformas operadas nos sistemas de distribuição de energia, entre estas actividades encontra-se a produção de energia eléctrica em muito pequena escala vulgarmente designada por micro-geração.

No caso particular de Portugal a micro-geração pode contribuir para atingir o objectivo de em 2010 39% do consumo bruto de energia do país seja proveniente de energias renováveis. A tecnologia fotovoltaica e a produção combinada de calor e electricidade podem ser uma realidade técnica e economicamente viável. As potencialidades não se resumem apenas à produção de energia eléctrica de forma eficiente (aproveitando por exemplo a produção combinada de calor e electricidade), estendem-se ao controlo do perfil de carga dos consumidores.

Os grandes complexos não dependem de uma única fonte de energia, para garantirem o seu pleno funcionamento estes dependem para além da energia da rede à qual estão ligados, de Grupos Electrogéneos e fontes de energia renovável. Note-se que para monitorizar toda a energia num grande complexo com este tipo de recursos não é uma tarefa simples.

2.3.2. SISTEMAS COMPUTACIONAIS EXISTENTES

Existem no mercado diversos sistemas de monitorização de consumos de energia, cada um com as suas características, mas nem todos dão resposta ao mesmo tipo de necessidades, sendo alguns mais dedicados à análise dos parâmetros eléctricos, enquanto outros se limitam a efectuar apenas leituras à distância.

Dos vários sistemas destacam-se:

- *eMonitor*
- *Energy Lens*
- *H-SEM - Hughes Energy Monitoring System*
- *Wi-LeM*
- *Optimal Monitoring System*

Foram escolhidos estes sistemas pois poderiam, à partida, conseguir dar resposta aos problemas de monitorização de energia em grandes complexos. Cada um dos sistemas apresenta vantagens e desvantagens, estando alguns deles mais próximo dos objectivos que se pretendem atingir com o presente trabalho.

A descrição seguinte de cada sistema pretende fazer transparecer as potencialidades de cada um deles.

eMonitor

O eMonitor é um sistema de monitorização flexível que permite manter um histórico dos consumos do edifício (electricidade, gás e água), dos respectivos custos associados e das variáveis ambientais (por exemplo a temperatura). Caracteriza-se essencialmente pela sua flexibilidade de instalação, adaptando-se facilmente ao edifício e aos requisitos pretendidos pelo cliente e pelos custos moderados de instalação, possibilitando a interligação a diversos equipamentos já instalados no edifício bem como a outros existentes no mercado. O *eMonitor* permite definir alertas automáticos através de envio de mensagens de correio electrónico ou de SMS, informando sobre a detecção de consumos anómalos ou apenas sensibilizando os utentes do edifício.

Com este sistema é ainda possível o armazenamento contínuo de dados relativos aos consumos totais do edifício, desagregados por secções ou até por equipamentos, criando-se um histórico de consumos que poderá ser utilizado nas auditorias e inspecções periódicas a que os edifícios estarão sujeitos ao abrigo do novo diploma de certificação energética [2].

Energy Lens

Através deste sistema é possível criar uma grande variedade de gráficos e tabelas dos dados de energia relativas a um intervalo de tempo [3]. Por outro lado estes gráficos e tabelas podem ser utilizados para diversos tipos de análises, particularmente para monitorização de energia e segmentação da mesma. Este sistema torna possível, através dos gráficos (Fig.2.1), ter uma visão global do consumo de energia e criar padrões de consumo.

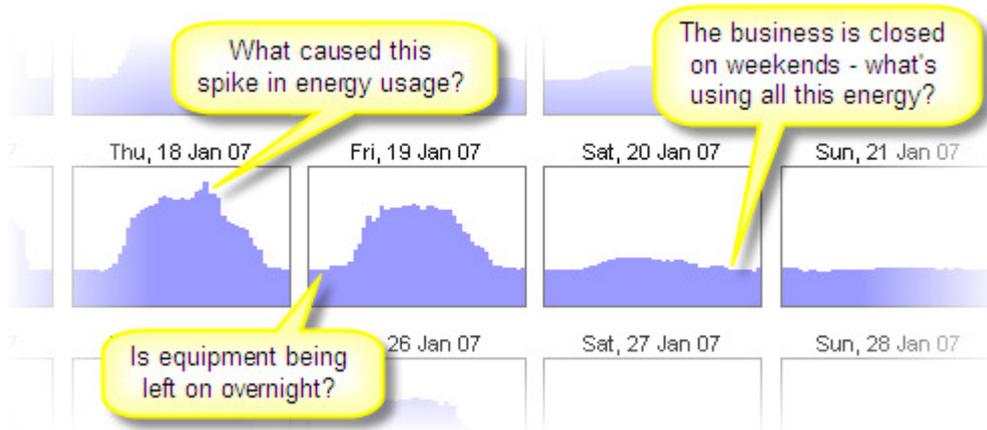


Fig. 2.1 – Visão global do consumo de energia do Energy Lens [3]

O *Energy Lens* possibilita também criar tabelas (Tabela 2.2) mostrando, entre as datas seleccionadas, qual o mínimo e o máximo da energia consumida.

Tabela 2.1 – Tabela diária de energia consumida [3]

**Average, maximum & minimum figures: 1 Dec 2007 - 31 Jan 2008;
Tuesdays, Wednesdays & Thursdays only (excluding 25, 26, 27 Dec
2008; 1, 2 Jan 2008)**

Time	Average kW	Maximum kW	Maximum Date	Minimum kW	Minimum Date
00:00	4,036.1	4,481.6	Wed, 30 Jan 2008	3,616.8	Wed, 19 Dec 2007
00:15	4,028.6	4,460.0	Wed, 30 Jan 2008	3,624.8	Wed, 19 Dec 2007
00:30	4,020.1	4,430.8	Wed, 5 Dec 2007	3,614.8	Thu, 24 Jan 2008
00:45	4,032.2	4,370.0	Wed, 30 Jan 2008	3,651.2	Thu, 24 Jan 2008
01:00	4,052.0	4,345.2	Thu, 10 Jan 2008	3,731.2	Thu, 24 Jan 2008
01:15	4,044.1	4,329.2	Thu, 11 Jan 2007	3,731.6	Thu, 24 Jan 2008
01:30	4,034.8	4,351.6	Wed, 30 Jan 2008	3,738.0	Tue, 18 Dec 2007
01:45	4,036.2	4,384.4	Wed, 30 Jan 2008	3,765.6	Thu, 24 Jan 2008
02:00	4,039.1	4,389.2	Wed, 30 Jan 2008	3,676.4	Thu, 24 Jan 2008
02:15	4,039.6	4,332.0	Wed, 30 Jan 2008	3,642.4	Thu, 24 Jan 2008
02:30	4,026.0	4,327.6	Wed, 30 Jan 2008	3,610.4	Thu, 24 Jan 2008
02:45	4,045.9	4,349.6	Wed, 30 Jan 2008	3,737.2	Thu, 24 Jan 2008

H-SEM - Hughes Energy Monitoring System

A *Hughes Energy Monitoring System* é uma solução de acompanhamento e segmentação automática de energia. O sistema é constituído por hardware, cablagem e software. O fabricante providencia a instalação, ensaios e suporte necessários para implementar o sistema. Qualquer tipo de energia ou o fluxo de recursos podem ser medidos: electricidade, gás, óleo, vapor, água, ar comprimido, temperatura, etc. Os contadores podem ser fornecidos e instalados como parte da solução ou podem simplesmente ser utilizados os contadores existentes, desde que disponham de uma interface de dados compatíveis com a saída por impulsos, Modbus, M-Bus ou 4-20 mA [4].

Num computador central são recolhidos dados de todos os contadores usando o software desenvolvido pela *Hughes Energy Systems*. Com o *HES DataLog* é possível comunicar com contadores e equipamentos de dados remotos usando uma variedade de protocolos de comunicação, embora o protocolo Modbus seja geralmente utilizado. A comunicação de dados é normalmente através da rede Ethernet. No entanto, ligações de rádio de baixa potência, bem como a rede GSM podem também ser utilizadas para ligações à distância.

Wi-LeM

A nova tecnologia lançada pelo grupo QEnergia está assente numa topologia wireless (Fig.2.2) conseguindo assim ultrapassar os problemas de todos os sistemas com fios existentes. Esta solução é disponibilizada através de um simples computador que pode ter acesso até 250 contadores, efectuar os registos de energia com a periodicidade desejada (entre 5 e 30 minutos) e posterior exportação para análise oferecendo, assim uma redução bastante considerável do tempo outrora despendido na deslocação à instalação [5].

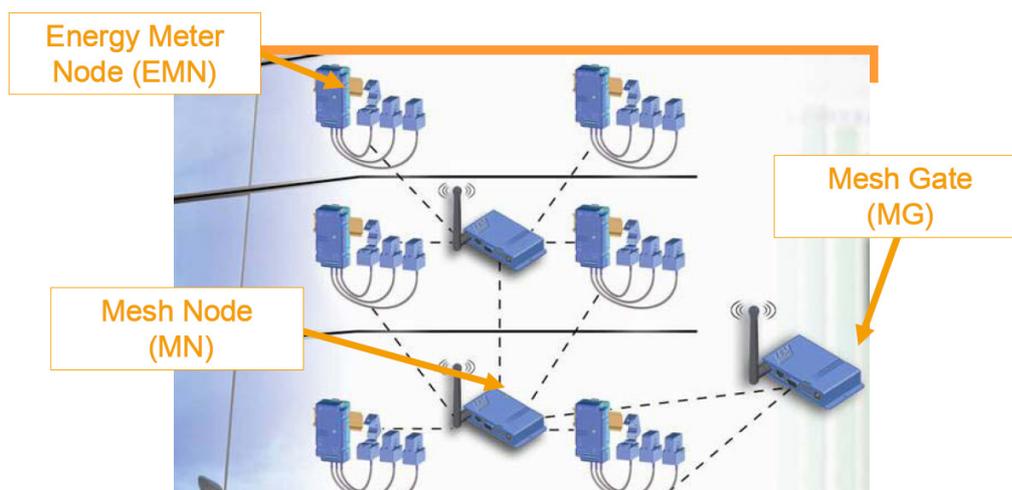


Fig. 2.2 – Solução sem fios implementada pela Qenergia [5]

Optimal Monitoring System

O sistema *Optimal Monitoring* é uma solução orientada para a recolha e elaboração de relatórios de dados energéticos (Fig.2.3).

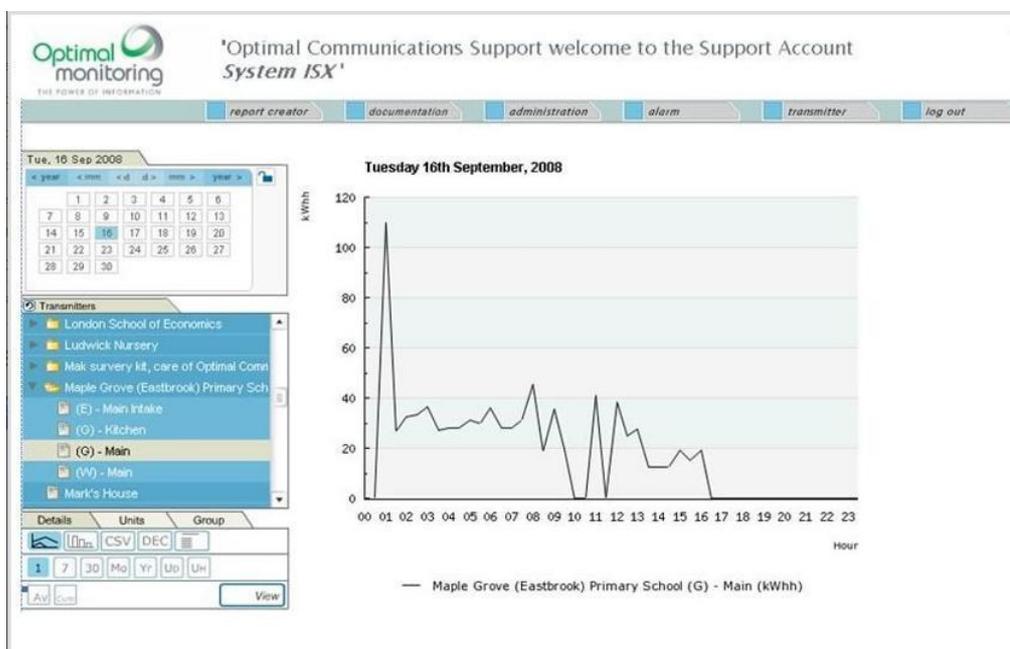


Fig. 2.3 – Interface gráfica “Optimal Monitoring” [6]

O *Optimal Monitoring* é um sistema automatizado utilizado para medir o consumo e os custos, podendo também enviar mensagens de alarme em caso de falha de alimentação ou simples inactividade do equipamento, mas também caso detecte desvios de consumo não considerados normais [6]. Além do acesso a dados, informações e alertas o sistema utiliza relatórios e processos operacionais para garantir a coerência com os relatórios necessários aos serviços de manutenção e assim aumentar a eficácia das operações.

2.3.3. DISCUSSÃO DOS SISTEMAS EXISTENTES

Os sistemas apresentados têm várias características em comum. Alguns têm como objectivo uma melhor análise de consumos energéticos, enquanto outros limitam-se a recolher os dados dos contadores para possibilitar uma análise posterior.

eMonitor - Este sistema tem um investimento base alto a nível de equipamentos e instalação pois o produto final é comercializado por outras empresas. É um sistema bastante flexível mas apresenta custos elevados e não permite a visualização dos parâmetros eléctricos de cada analisador de energia *online*.

Energy Lens – Sistema que apresenta grandes potencialidades na produção de gráficos de energia, permitindo traçar automaticamente padrões de consumo. Todavia tem custos elevados e não permite a visualização dos parâmetros eléctricos de cada analisador de energia *online*.

H-SEM - Hughes Energy Monitoring System – Solução extremamente dispendiosa. Sendo bastante abrangente, suporta a monitorização de várias fontes e tipos de energia. Apresenta a desvantagem de ser necessária a utilização de um “DataLogger” e não permite a visualização dos parâmetros eléctricos lidos por cada analisador de energia *online*.

Wi-LeM – Este sistema permite somente o registo dos valores de energia de vários dispositivos descentralizados. É limitado, tendo apenas a vantagem de utilizar tecnologia wireless.

Optimal Monitoring System – Dos sistemas que analisados neste estado de arte é sem dúvida o mais completo, contudo também o mais dispendioso. A grande desvantagem é não permitir a visualização dos parâmetros eléctricos lidos por cada analisador de energia *online*.

Esta dissertação tem como principal objectivo o desenvolvimento e implementação de um sistema de monitorização de baixo custo aplicado a grandes complexo. Apresenta-se como uma a solução mais equilibrada (Tabela 2.2), pois o *Energy Monitor* permite todas as funcionalidades das soluções atrás apresentadas, possibilitando ainda a visualização dos parâmetros eléctricos lidos por cada analisador de energia *online*.

Sendo de momento uma aplicação *open-source*, poderá ser alvo de posteriores desenvolvimentos de forma a explorar mais funcionalidades.

Tabela 2.2 – Tabela de comparação dos sistemas existentes

	Energy Monitor	H-SEM	Optimal	Wi-LeM	eMonitor	Energy Lens
Gráficos	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Tabelas	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Protocolo	Modbus	Modbus	Modbus	Modbus	Modbus	Modbus
Impressão	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Envio p/Correio Electrónico	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim
Análise <i>online</i>	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

CAPÍTULO III – ANÁLISE DE CONSUMOS EM GRANDES COMPLEXOS

Sumário - A análise de consumos indispensável em qualquer industria ou empresa com dimensão considerável onde podem existir excessos energéticos difíceis de detectar, ganha importância acrescida quando aplicada a grandes complexos.

3.1. VISÃO CONCEPTUAL DO SISTEMA

O sistema apresentado nesta dissertação é composto por duas aplicações:

- 1- *ONLINE*
- 2- *LOGGER*

Estas aplicações são completamente parametrizáveis, expansíveis e adaptáveis a qualquer tipo de complexos onde existam vários pontos de consumo energético descentralizados.

A configuração do sistema é apresentada na Fig. 3.1.

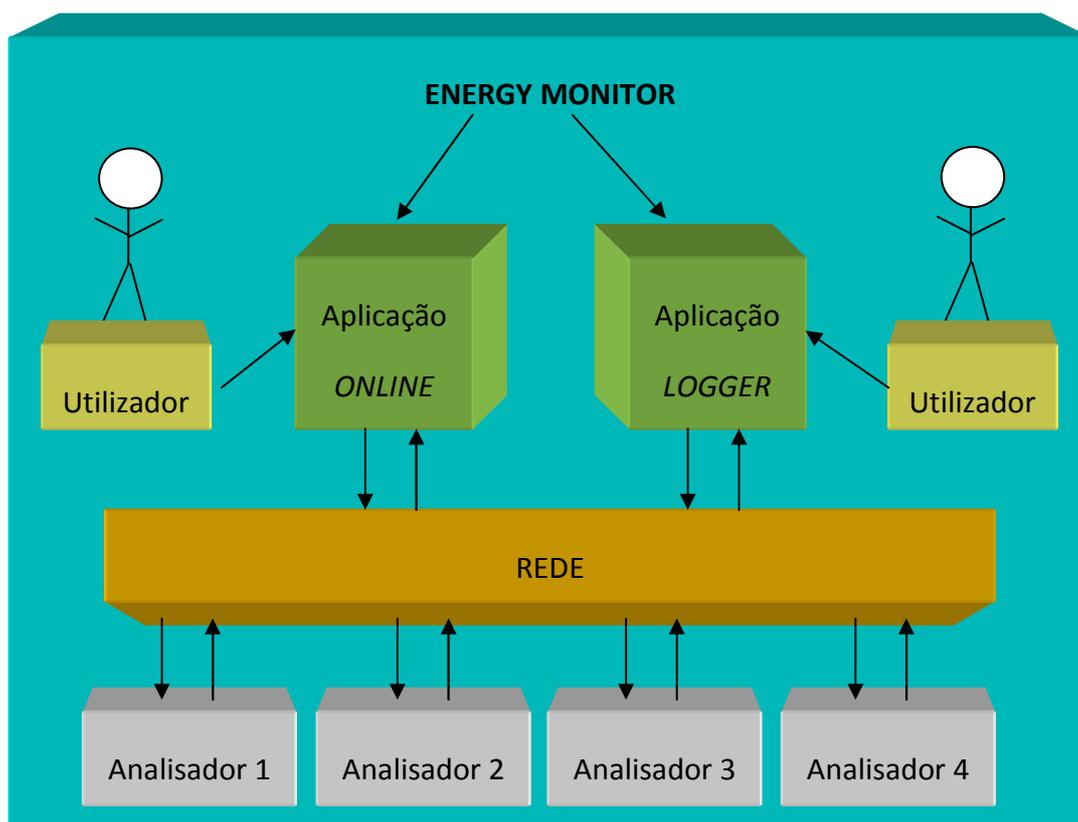


Fig. 3.1 – Visão global do sistema ENERGY MONITOR

Na Fig. 3.1 é possível ter a visão global do *Energy Monitor*. As duas aplicações que constituem este sistema apresentam várias funcionalidades distintas.

A aplicação *ONLINE* permite a análise “*online*” dos parâmetros eléctricos que os equipamentos de análise utilizados permitem adquirir, tais como:

- Tensões simples e compostas;
- Correntes;
- Factor de potência;
- Potências (aparente, activa, reactiva);
- Frequência.

A monitorização destas grandezas é de grande importância, pois através delas é possível construir gráficos e tabelas que permitem analisar o comportamento dos vários equipamentos (cargas eléctricas). Os valores adquiridos podem ser utilizados para elaborar diagramas de carga, para uma posterior análise do consumo de energia de determinado equipamento em determinado período do tempo. Todas as leituras que esta aplicação efectua ficam guardadas num ficheiro, para que mais tarde possam ser consultadas ou simplesmente impressas. É também possível configurar o envio dos dados para o correio electrónico do técnico responsável. Como se trata de uma aplicação *online* é apenas permitido uma ligação de cada vez, pois é necessário reservar a porta de comunicações do computador para que a aplicação seja executada sem atrasos que poderiam ser relevantes numa análise deste tipo.

A aplicação *LOGGER* tem como objectivo recolher os valores de energia activa e reactiva de todos os analisadores de energia estando ou não estes ligados à mesma rede de comunicações (Fig. 3.2) e registar numa base de dados, suportada pela memória do computador onde a aplicação está a correr. Neste caso, cada aplicação reporta ao servidor um relatório dos valores de energia de cada analisador ligado a cada rede em intervalos de 24h. Não existe qualquer interesse em ter relatórios de consumos de energia inferiores a um dia completo, pois contêm pouca informação para análise. O intervalo de tempo foi predefinido em 24h, mas este valor pode ser alterado pelos utilizadores.

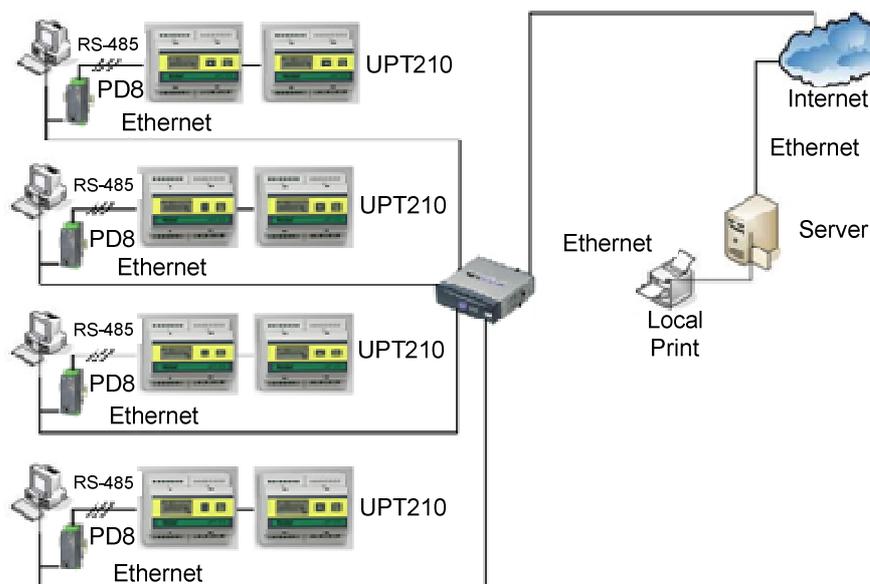


Fig. 3.2 – Ligação de várias redes de analisadores locais a um servidor

Através desta aplicação é possível efectuar uma posterior facturação por cada rede implementada, tendo o servidor total conhecimento de quais os dispositivos contidos em cada rede, de forma a poder ser feita uma comparação de consumos. Esta comparação pode ser feita não só em termos temporais (de mês para mês) mas também entre equipamentos similares. Nesta perspectiva, será possível detectar facilmente consumos exagerados ou desvios anómalos. Esta aplicação disponibiliza a informação necessária a um possível ajuste ao tarifário em vigor.

A aplicação efectua o ajuste automático dos quatro períodos tarifários do ano predefinidos (Fig. 3.3), não sendo necessário qualquer tipo de intervenção ou alteração manual.

Número 6
(Períodos Tarifários) [5] [12]

a) Nos termos do Regulamento Tarifário consideram-se os seguintes períodos tarifários:

1. Períodos trimestrais:

- Período I: de 1 de Janeiro a 31 de Março
- Período II: de 1 de Abril a 30 de Junho
- Período III: de 1 de Julho a 30 de Setembro
- Período IV: de 1 de Outubro a 31 de Dezembro

2. Períodos horários.

Horas fora de vazio	Horas de ponta
	Horas cheias
Horas de vazio	Horas de vazio normal
	Horas de super vazio

Fig. 3.3 - Períodos Tarifários estabelecidos pela EDP [7]

Esta funcionalidade encontra-se disponível porque normalmente os grandes complexos são alimentados em regime de média tensão, com sistema tetra horário [7].

3.2. CONFIGURAÇÃO DA REDE

A rede de monitorização pode ser dividida em duas grandes áreas:

- 1- Principal
- 2- Secundária

A rede principal é composta por um computador que corre uma aplicação de forma a controlar os intervalos de tempo entre as mensagens enviadas e mensagens recebidas, recolher toda a informação proveniente dos analisadores e analisar a mesma. Este computador é necessário devido ao facto de os analisadores não possuírem memória interna para guardar a informação proveniente das leituras. A rede secundária é constituída por um conversor RS-485/Ethernet, pelos vários de analisadores necessários às monitorizações desejadas e por um computador (Fig.3.2). Este computador é responsável por guardar todos os dados dos analisadores que constem na sua rede e enviar toda a informação, separada por analisador, para o servidor através da Internet ou Ethernet

Este sistema efectua a comunicação entre ambas as partes através da rede Ethernet (Fig. 3.4). A rede Ethernet faz parte das instalações eléctricas especiais da maior parte dos grandes complexos. Para situações em que se pretende instalar o sistema de monitorização

num único complexo é possível efectuar todas as comunicações através desta rede com uma configuração idêntica à apresentada na Fig.3.4.

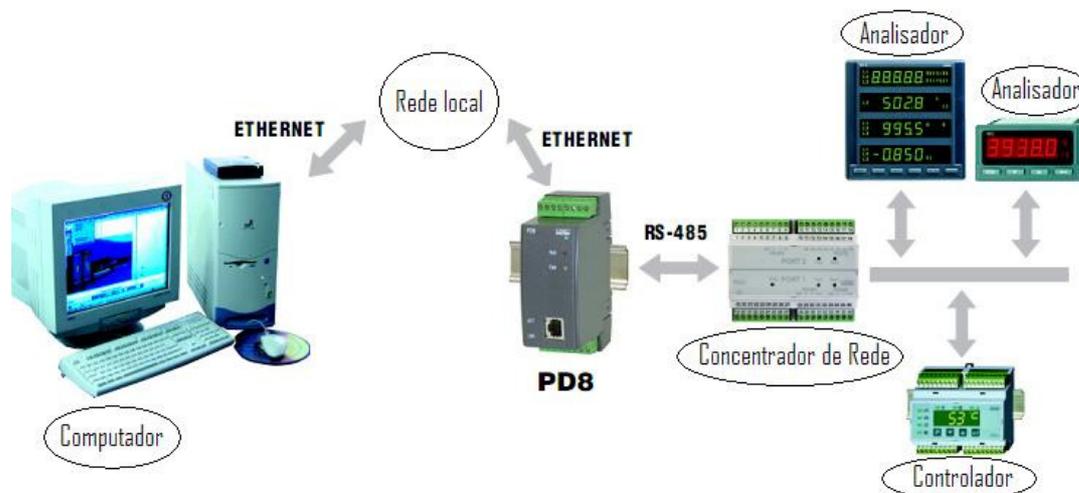


Fig. 3.4 - Esquema da rede de comunicação implementada

Caso se pretenda efectuar a monitorização de um conjunto de grandes complexos, com consumos descentralizados, pode ser utilizada a Internet como meio de comunicação (Fig. 3.5).

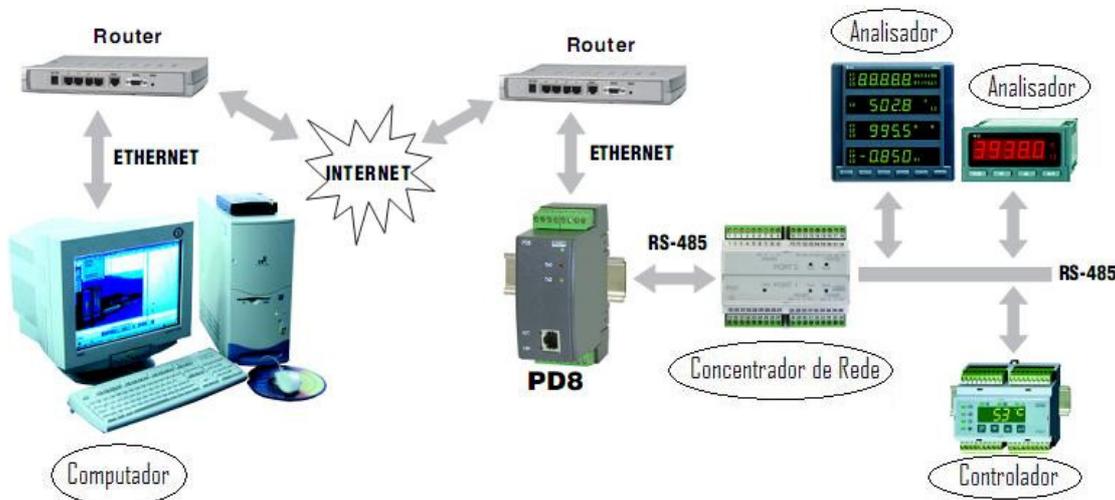


Fig. 3.5 – Esquema de comunicação utilizando a internet

É necessária a adopção de um protocolo que controle e possibilite a transferência de dados entre as duas redes utilizados (RS485-Ethernet). Um protocolo pode ser definido como "as regras que governam" a sintaxe, semântica e sincronização da comunicação. Para este efeito foi escolhido o protocolo Modbus. O factor decisivo foi o custo que os analisadores que suportam este protocolo têm face aos restantes (Profibus, FieldBus, Rede CAN), bem como a sua simplicidade de utilização e implementação. O ModBus é um protocolo de comunicação

da camada aplicação, encontrando-se posicionado no nível 7 do modelo OSI (Fig. 3.6), que providencia uma comunicação cliente/servidor entre dispositivos ligados entre diferentes tipos de redes.

7	Camada de aplicação	Aplicação
6	Camada de Apresentação	
5	Camada de Sessão	
4	Camada de Transporte	
3	Camada de Rede	Rede
2	Camada de Enlace	
1	Camada Física	

Fig. 3.6 – Modelo OSI

A camada de aplicação faz a interface entre o protocolo de comunicação e a aplicação que pediu ou receberá a informação através da rede. Por exemplo, neste caso o Energy Monitor ao solicitar a recepção dos parâmetros eléctricos através da aplicação ONLINE entrará em contacto com a camada de Aplicação do protocolo de rede efectuando a solicitação. Esta camada apenas assegura as condições para que os programas possam cooperar entre si. A camada de aplicação é o nível mais alto do modelo OSI, é totalmente dedicada e dependente das aplicações a fornecer ao utilizador específico.

Os dispositivos ligados a uma rede Modbus interagem através de técnicas Mestre-Escravo (Fig. 3.7) onde somente o mestre tem a capacidade de inicializar uma comunicação e limitando-se o escravo a responder com o envio da informação requerida pelo mestre.

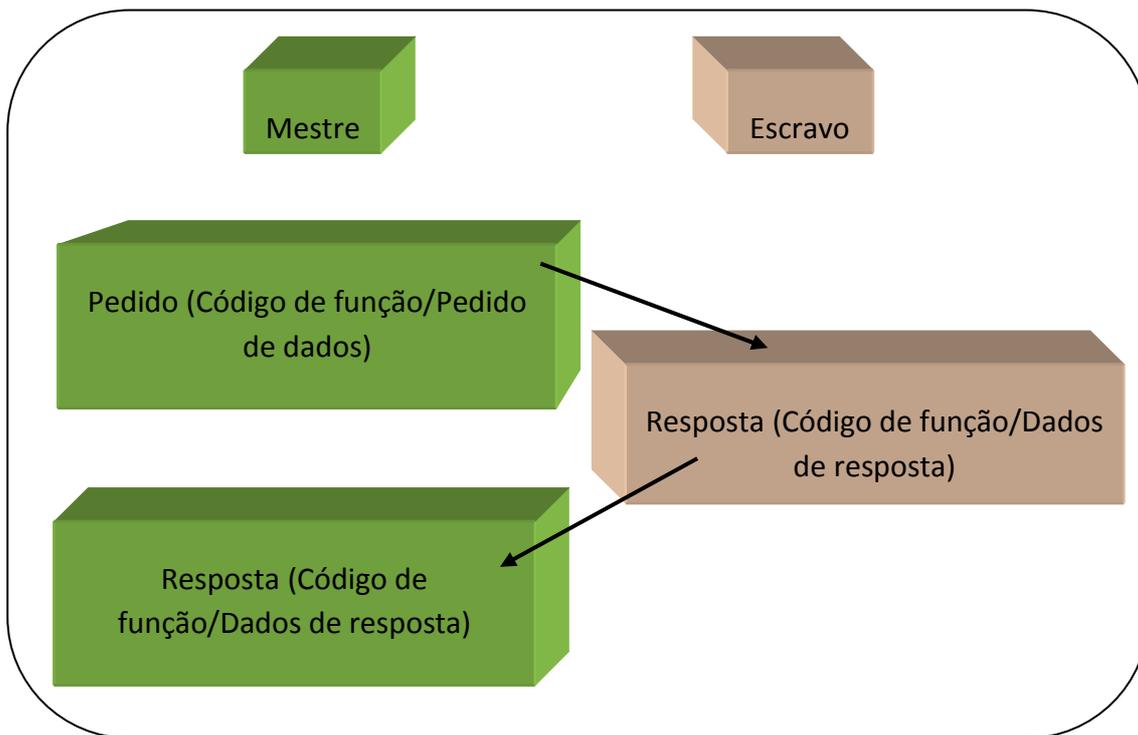


Fig. 3.7 - Comunicação entre mestre e escravo no protocolo Modbus

A comunicação Modbus pode utilizar dois tipos de transmissão, ASCII ou RTU (Remote Terminal Unit). Os modos de comunicação definem a forma de codificação das mensagens Modbus (Fig. 3.8). No modo Modbus RTU (formato utilizado na implementação do *Energy Monitor*) é utilizado o formato binário para codificar as mensagens, tornando-se as mensagens ilegíveis para quem não sabe qual a informação requerida pelo mestre. O tamanho das mensagens diminui permitindo um maior fluxo de mensagens no mesmo intervalo de tempo.

Início	Endereço	Função	Dados	Código detector de erros	Fim
Silêncio	1 byte	1 byte	n bytes	2 bytes	Silêncio

Fig. 3.8 – Formato de mensagem Modbus

Os equipamentos escolhidos para implementar o sistema têm de ser compatíveis com o protocolo utilizado, optando-se por analisadores de energia da marca Algodue modelo UPT-210 [8] e conversores da marca LUMEL modelo PD8 [9].

Assim, os dispositivos utilizados para implementar a rede são:

- PD8 (Conversor RS-485/Ethernet)
- UPT210 (Analisador de energia)
- TI (Transformador de corrente com relação de 50:5)

Nos pontos seguintes será feita uma descrição mais detalhada de cada uma dos dispositivos, enunciados anteriormente.

Conversor RS-485/Ethernet



Fig. 3.9 – Conversor (RS-485/Ethernet) marca LUMEL

O conversor escolhido foi o modelo PD8 da marca LUMEL. Este conversor tem como objectivo possibilitar a conversão dos dados entre os dois tipos de rede aqui utilizados, RS485-Ethernet e tem como principais características:

- Formato de dados – 9,10,11,12 [Bit].
- Velocidade de transmissão RS-485 – 300,600,1200,2400,4800,9600,19200,38400,56000 [Bit/s].
- Tempo máximo de resposta – 1000 [ms].
- Distância máxima de transmissão – acima de 1200m a 9600 [Bit/s].
- Interface Ethernet – 10/100 Base-T.
- Protocolo de Transmissão Ethernet – Digi Real Port, TCP/IP, http, ICMP, DHCP, ARP.
- Velocidade de transmissão Ethernet – 10/100 [Mbit/s].
- Distância de transmissão - <100 [m].
- Luzes de operação.

- Tempo de aquisição de endereço -> 16 [s].
- Alimentação – 230V 50Hz.

O conversor PD8 permite transmissão de dados do mestre, através de um computador equipado com placa de rede, para os dispositivos escravo com interface RS-485. O conversor tem disponíveis duas formas de operar: “Serviço de Rede (Real-Port) ” e “ponte série com protocolo UTP”.

No caso particular em desenvolvimento foi utilizado o conversor no modo “Serviço de Rede (Real-Port) ”, porque existe a necessidade de ter um computador a guardar todos os dados disponibilizados pelo analisador de energia e de controlar os intervalos de tempo de comunicação. Utilizando o conversor neste modo só é possível interagir com um “escravo” de cada vez. Quando a rede apresenta vários analisadores é feito um ciclo que efectua a ligação a cada analisador presente na rede, recolhendo os dados pretendidos numa fracção de tempo de 5s (predefinido) entre cada analisador.

Analizador de energia



Fig. 3.10 – Analizador de energia UPT210 marca ALGODUE

O analisador de energia eléctrica escolhido foi o modelo UPT210 da marca ALGODUE. O UPT210 é um analisador digital com a capacidade de medir os parâmetros eléctricos em sistemas trifásicos, conseguindo leituras com precisão mesmo em presença de formas de onda distorcidas. Através do seu ecrã de cristais líquidos é possível visualizar as grandezas medidas, bem como efectuar toda a configuração do mesmo.

Este analisador é um dispositivo compacto, de baixo custo que pode funcionar sozinho ou integrado numa rede de monitorização de energia de maior dimensão, substituindo tanto os multímetros analógicos mas também os medidores de funções específicas tais como voltímetros, amperímetros, wattímetros, varímetros, frequencímetro, fasímetros, medidores de energia, etc.

As suas principais características são:

- Dimensões compactas 6 DIN Módulos.
- Medições de verdadeiro valor eficaz (True RMS).
- 2 Saídas digitais para emissão de impulsos.
- Medição de mais de 35 parâmetros eléctricos.
- Porta de comunicação RS485.
- Programação das relações dos TI's e TT's.
- Método de verdadeiro valor eficaz, permitindo uma medição precisa mesmo através de forma-de-onda distorcida.
- Emissão de impulsos até duas energias através de saída opto-isolada.
- Porta de comunicação série.

Transformador de corrente



Fig. 3.11 – Transformador de corrente relação 50:5

O transformador de corrente (TI) é utilizado para medir correntes eléctricas quando a corrente eléctrica do circuito é muito alta para ser directamente lida por instrumentos de medida. Disponibilizando aos seus terminais uma corrente proporcional à existente no circuito.

3.3. APLICAÇÃO *ONLINE*

A primeira aplicação tem como objectivo a análise *online* dos parâmetros eléctricos recolhidos pelos analisadores. Através desta aplicação são criadas tabelas automáticas com o registo de todos os parâmetros eléctricos que os analisadores permitem recolher a cada instante.

3.3.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Os valores recolhidos por esta aplicação podem ser utilizados para produzir diagramas de carga e analisar o consumo energético em cada período horário, é possível gravar os dados analisados num ficheiro de segurança, e ainda disponibilizar funcionalidades como a impressão ou o envio de ficheiros para um endereço de correio electrónico quando existir a necessidade de dar conhecimento de uma anomalia ou simplesmente dos consumos incorridos. Permite ainda ter a indicação do estado da ligação através da barra de *status*, verificando-se assim se a ligação foi estabelecida correctamente com o analisador em questão ou se ocorreu algum tipo de erro.

3.3.2. FUNCIONALIDADES

A aplicação *ONLINE* não tem como objectivo a recolha dos parâmetros eléctricos a tempo inteiro. O seu desenvolvimento foi efectuado com o intuito de ser uma ferramenta que permita em qualquer instante efectuar uma ligação a um qualquer analisador e monitorizar as várias grandezas eléctricas adquiridas por esse dispositivo, podendo elaborar gráficos de grande precisão com referência ao dia/hora exacta. Desta forma é possível quantificar e fornecer ao gestor de energia os dados necessários para uma tomada de decisão fundamentada.

3.4. APLICAÇÃO *LOGGER*

A segunda aplicação permite o registo da energia activa e reactiva consumida por cada equipamento/carga, reportando todos os dados recolhidos para o servidor a cada 24 horas (por predefinição).

Esta aplicação apresenta-se como alternativa ao registo manual de medições (energia activa/reactiva), sendo esta normalmente efectuada por um funcionário que percorre todas as áreas onde se encontram dispositivos de medição instalados e recolhe os valores por estes registados, com consequentes erros de leitura e desfasamento temporal.

Desta forma, a comparação dos valores registados manualmente não é exacta, o que pode causar erros nas soluções a adoptar, ou mesmo más decisões no que diz respeito da escolha dos tarifários.

3.4.1. CARACTERÍSTICAS

Através dos relatórios de consumos de energia de cada rede implementada e consequentemente de cada analisador nela instalada, é possível facturar os valores de energia separadamente.

A aplicação resolve esta questão ao reportar os consumos realizados num número ilimitado de pontos de medição situados numa única ou em várias instalações e assim tornar visíveis os custos reais incorridos nos vários sectores, departamentos ou equipamentos específicos.

O servidor tem total conhecimento de quais os dispositivos instalados em cada rede, de forma a poder comparar não só os consumos mensais mas também entre equipamentos similares, com esta perspectiva facilmente se podem detectar desvios e consumos de energia supérfluos.

3.4.2. FUNCIONALIDADES

A aplicação *LOGGER* permite a recolha sistemática dos dados necessários a uma efectiva gestão de energia e permite a automação de algumas tarefas através da criação de relatórios, possibilitando a consulta remota ou envio automático por e-mail.

Esta aplicação não substitui a aplicação *ONLINE*, esta aplicação permite a recolha dos dados e produz os relatórios necessários à gestão de energia, de forma aos consumidores de poderem ajustar às taxas impostas pelo fornecedor de energia, ajustando-se aos quatro períodos de facturação anuais, cada um programado de forma dinâmica de maneira a que os períodos diários (horas do dia) estejam de acordo com o período presentemente a decorrer.

Esta aplicação trás benefícios ao aumentar a transparência da contabilidade, pois ganha-se detalhe no conhecimento do custo das actividades e ganha-se informação essencial para

ajustar os tarifários contratados e a política de investimento em novos equipamentos de energia. Com esta informação é possível procurar processos e procedimentos de operação mais eficazes, que conduzam a um desempenho superior, comparando os consumos entre instalações e equipamentos análogos, possibilitando a emissão de uma factura ao responsável por cada departamento de forma a “prestar contas” pelos desvios verificados.

CAPÍTULO IV – IMPLEMENTAÇÃO

Sumário - A instalação deste sistema teve lugar após ter sido concluído o processo de desenvolvimento da estrutura física (equipamentos e protocolos de comunicação) e das aplicações que permitem toda a análise e registo dos dados de energia.

4.1. TECNOLOGIAS

Quer-se com este sistema analisar e registar os dados relativos ao consumo de energia no Departamento de Engenharia Electrotécnica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e posteriormente expandir o mesmo a todo o campus da faculdade de forma a poder existir uma separação correcta dos valores de consumo efectuado por cada departamento.

Nesta primeira fase o sistema fará o registo da energia consumida pelo departamento e a monitorização da energia produzida pelo aerogerador que aí se encontra, possibilitando assim a análise da contribuição energética do mesmo.

A existência de um sistema de monitorização deste tipo apresenta vantagens imediatas:

- Criação de Documentos Internos;
- Educação Energética;
- Redução do Impacto Ambiental;
- Acções de Sensibilização Internas.

Documentos internos permitem responsabilizar os departamentos pelos consumos efectuados. Esta responsabilização torna-se numa forma de educação energética, dado que após um período de contagens poderão ser feitos estudos e comparações entre os vários departamentos, dando assim a alusão dos consumos existentes e de quanto se pode poupar, criando para isso, se necessário, metas a cumprir internamente. Estas medidas têm como finalidade não só da redução dos consumos energéticos mas também uma redução do impacto ambiental.

Podem parecer reformas simples, mas após um período de contagens alargado torna-se claro quais os excessos que ocorrem, podendo assim ser criadas iniciativas para reduzir alguns excessos ou um ajuste das tarifas contratadas, passando por acções de sensibilização internas para alunos, docentes e funcionários.

Através do uso de várias tecnologias, entre elas estão algumas de utilização mais habitual fazendo parte do quotidiano da maior parte das pessoas (*Microsoft Windows*), foi possível o

desenvolvimento deste sistema. As aplicações foram desenvolvidas em VBA (*Visual Basic for Applications*), tecnologia presente no pacote de *software* denominado por *Microsoft Office*. Aproveitando as potencialidades deste pacote de *Software (Microsoft Office)* foi escolhida a ferramenta *Microsoft Excel* como base de dados para as aplicações desenvolvidas, sendo esta uma ferramenta que permite trabalhar sobre folhas de cálculo, efectuar todos os cálculos necessários e guardar todos os registos de leitura efectuados pelos analisadores de energia na sua base de dados.

A tecnologia VBA foi adoptada para desenvolver todas as funções não só de comunicação entre o protocolo ModBus e os dispositivos de análise de energia como se pode ver na Fig. 4.1, onde se apresenta o código utilizado para efectuar a ligação a cada analisador. Nesta função são definidos parâmetros importantes que vão desde a velocidade de comunicação, bits de paridade, bits de dados, bits de paragem, tempo limite para estabelecer uma comunicação e modo de transmissão, é a partir desta função que todo o processo de monitorização começa.

```
' Handler for the CONNECT SERIAL Button

Private Sub ConnectSerial_Click()
    MbMasterV71.BaudRate = 9600           '9600 Baud
    MbMasterV71.PARITY = 0                '0=NOPARITY, 1=ODDPARITY, 2=EVENPARITY, 3=MARKPARITY, 4=SPACEPARITY
    MbMasterV71.DataBits = 8              '8 DataBits
    MbMasterV71.StopBits = 0              '0=ONESTOPBIT, 1=ONESSTOPBITS, 2=TWOSTOPBITS
    MbMasterV71.TimeOut = 5000            '2000 msec
    MbMasterV71.TransmissionMode = 1      '0=ASCII, 1=RTU
    MyHandle = MbMasterV71.ConnectSerial(3) 'Ligar à porta COM 1
    If MyHandle > 0 Then                  'MyHandle funciona como uma flag que informa o estado da conexão
        ConnectSerial.Enabled = False     'Desactiva o botão de conexão na form
        Desconectar.Enabled = True        'Activa o botão para desconectar a ligação
        Status.Text = "Connected"         'Informa que a conexão foi bem sucedida
        READMODBUS.Enabled = True         'Activa botão de leitura
    Else                                   'A Conexão Falhou!
        Status.Text = "Not Connected"     'Informa que a conexão foi mal sucedida
    End If
End Sub
```

Fig. 4.1 – Função de início de comunicação com os dispositivos utilizando o protocolo ModBus

Na Fig. 4.2 é apresentado o código que termina uma comunicação, repondo todas as variáveis ao seu valor inicial de forma a tornar possível o início de uma nova comunicação.

```

' Handler for the DISCONNECT Button
Private Sub Desconectar_Click()

    'Tell the control to Disconnect
    MyStatus = MbMasterV71.Disconnect(MyHandle)
    MyHandle = -1
    ConnectSerial.Enabled = True
    Desconectar.Enabled = False
    Status.Text = "Not Connected"
    READMODBUS.Enabled = False

End Sub

```

Fig. 4.2 – Função de fim de comunicação com os dispositivos utilizando o protocolo ModBus

É através desta tecnologia que são criadas todas as interfaces gráficas que auxiliam o utilizador em todo o processo de manuseamento deste sistema de monitorização. As funções de comunicação são facilmente preenchidas com os dados necessários através da interface que se apresenta na Fig. 4.3. Caso estas interfaces não existissem o processo seria muito mais moroso e menos intuitivo.

Fig. 4.3 – Interface de configuração da ligação

Através desta tecnologia foram também criadas funções que permitem ao utilizador ter uma noção clara da situação em que o sistema se encontra, isto é possível através de funções de “Status”, cujo respectivo se apresenta na Fig. 4.4. Esta importante função permite ao utilizador saber mais pormenores sobre a ligação, mostrando através de mensagens de texto simples o estado do sistema de monitorização.

Estas mensagens são apresentadas no espaço designado por “Status” (Fig.4.5) em ambas as aplicações. Estas mensagens são essenciais para que o utilizador perceba se está a introduzir os valores de configuração correctos caso deseje efectuar leituras pontuais com a aplicação

ONLINE, servindo também para dar informações sobre o estado global do sistema de monitorização.

```
' Generic function to display status value returned
' from PollModbus, WriteModbus
Public Sub show_status(ErrCode As Integer)

    If (ErrCode = 0) Then
        Status.Text = "OK"
    ElseIf (ErrCode < 255) Then
        Status.Text = "Slave Device Exception Response"
    ElseIf (ErrCode = 256) Then
        Status.Text = "Invalid Connection Handle"
    ElseIf (ErrCode = 257) Then
        Status.Text = "Message Overrun"
    ElseIf (ErrCode = 258) Then
        Status.Text = "Invalid Point Address"
    ElseIf (ErrCode = 259) Then
        Status.Text = "Invalid Slave Node Address"
    ElseIf (ErrCode = 260) Then
        Status.Text = "Invalid Length"
    ElseIf (ErrCode = 261) Then
        Status.Text = "Unsupported Modbus Command"
    ElseIf (ErrCode = 263) Then
        Status.Text = "Slave Device Time-Out"
    ElseIf (ErrCode = 264) Then
        Status.Text = "Invalid Transmission Mode"
    ElseIf (ErrCode = 265) Then
        Status.Text = "Invalid CRC In Slave Response"
    ElseIf (ErrCode = 266) Then
        Status.Text = "Connection Not Established"
    ElseIf (ErrCode = 267) Then
        Status.Text = "Invalid Slave Response"
    ElseIf (ErrCode = 271) Then
        Status.Text = "Demo Time Expired"
    ElseIf (ErrCode = 272) Then
        Status.Text = "Invalid modbus/TCP Command"
    End If

End Sub
```

Fig. 4.4 – Função de *Status* do sistema



Fig. 4.5 – Janela de Status (Aplicação *ONLINE*)

O protocolo de comunicação utilizado (Protocolo Modbus RTU) [13] está preparado para trabalhar numa situação de mestre – escravo (Fig. 4.6) onde o mestre envia pela rede uma

mensagem direccionada a um ou mais escravos e estes por sua vez limitam-se a responder com uma mensagem onde consta toda a informação requerida pelo mestre.

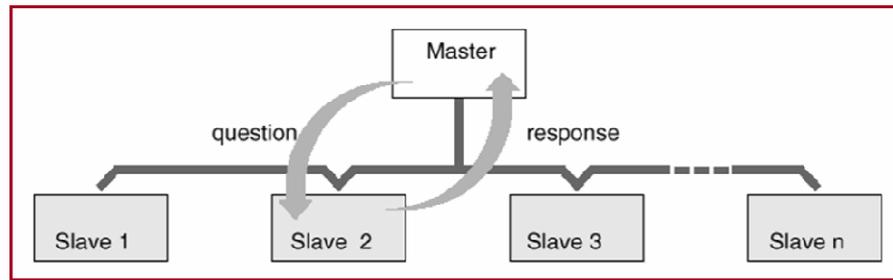


Fig. 4.6 – Comunicação Modbus Mestre-Escravo

As aplicações apresentam um interface amigável evitando que o utilizador se aperceba de todos estes processos internos. Na Fig. 4.7 mostram-se as entradas (“inputs”) que são necessárias para efectuar um leitura dos dados de um analisador que se encontre ligado à rede. O utilizador, para efectuar este procedimento, terá apenas contacto com uma interface intuitiva (apresentada na Fig. 4.8) e um botão que deverá pressionar para realizar a tarefa pretendida.

```
' Handler for the READ Button
Private Sub READMODBUS_Click()
Dim MyData As Long

'Começa por carregar os valores do Slave Address, o comando da função Modbus,
'o endereço e o comprimento
Slave = NODEADDRESS.Text 'Carrega para a variável Slave o endereço do contador
Cmd = POINTTYPE.Text 'Carrega o comando da função Modbus que queremos requisitar
Address = READADDRESS.Text 'Endereço do registo
Length = READLENGTH.Text 'Quantidade a ler
MyStatus = MbMasterV71.PollModbus(MyHandle, Slave, Cmd, Address, Length)

If MyStatus = 0 Then ' Verifica se o pedido foi enviado
    Status.Text = "Busy"
Else
    show_status (MyStatus)
End If
End Sub
```

Fig. 4.7 – Envio de mensagem Modbus do mestre para o escravo

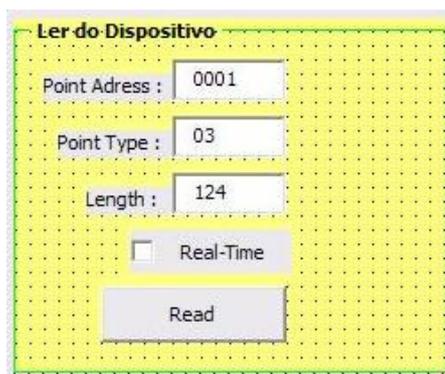


Fig. 4.8 – Interface de Leitura (Aplicação *ONLINE*)

A rede Modbus tradicional apresenta a seguinte configuração (Fig. 4.9.).

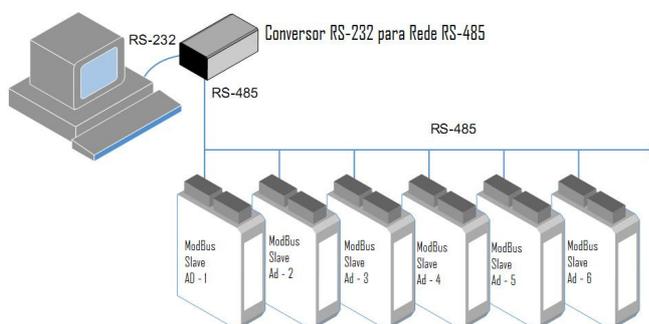


Fig. 4.9– Configuração da rede Modbus normalmente utilizada

A monitorização de energia em grandes complexos só é possível através de uma rede de comunicação que permita a descentralização dos equipamentos de análise de energia. Como a localização dos analisadores de energia em grandes complexos não é centralizada esta topologia de rede (Fig. 4.9) não permite a recolha dos dados e a sua focalização num só ponto (Servidor) como pretendido. A rede de comunicação utilizada pelo *Energy Monitor* foi desenvolvida e pensada de forma a evitar elevados custos associados aos equipamentos e tendo em linha de conta a total funcionalidade do sistema, bem como a sua possível ampliação, esta topologia de rede está apresentada na Fig. 4.10, desta forma é possível contornar as limitações existentes na rede anterior.

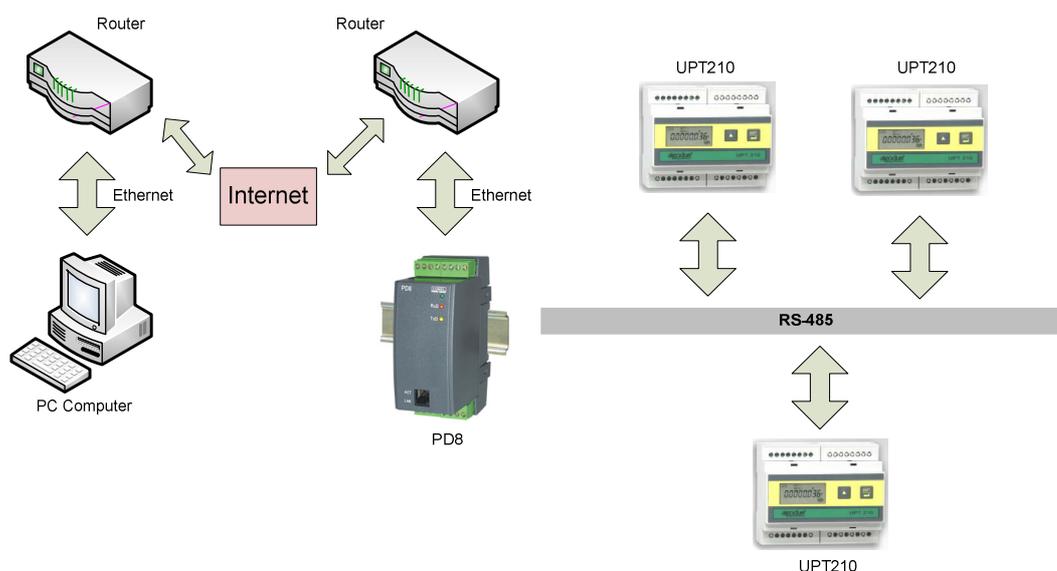


Fig. 4.10 - Configuração da rede Modbus adaptada à monitorização de grandes complexos

4.2. ENERGY MONITOR

O Energy Monitor é um sistema que engloba, para além de dispositivos de comunicação e analisadores de energia duas aplicações fundamentais que disponibilizam todas as funcionalidades relacionadas com a monitorização dos consumos de energia.

Estas aplicações permitem o registo da energia activa/reactiva de um edifício, departamento, secção ou equipamento; o seu envio para o responsável/gestor em períodos predefinidos de tempo; uma visualização *online* dos parâmetros eléctricos associados a um determinado analisador de energia e o registo dos mesmos. Partindo dos parâmetros eléctricos recolhidos é possível efectuar análises pormenorizadas sobre os consumos de energia incorridos.

A aplicação *ONLINE* permite a análise "*online*" dos parâmetros eléctricos que os equipamentos de análise utilizados permitem adquirir. Os valores adquiridos podem ser utilizados para elaborar diagramas de carga, para uma posterior análise do consumo de energia de determinado equipamento em determinado período do tempo.

A aplicação *LOGGER* tem como objectivo recolher os valores de energia activa e reactiva de todos os analisadores de energia estando ou não estes ligados à mesma rede de comunicações e registar numa base de dados, suportada pela memória do computador onde a aplicação está a correr.

4.2.1. APLICAÇÃO ONLINE

Esta aplicação tem como objectivo permitir uma análise *online* dos seguintes parâmetros eléctricos (disponibilizadas pelos analisadores de energia):

- Tensões simples e compostas (valores eficazes);
- Correntes (valores eficazes);
- Potências (Activa, Reactiva, Aparente);
- Factor de Potência;
- Frequência;
- Energia (activa e reactiva).

A aplicação efectua um registo de todos os parâmetros numa base de dados, permitindo assim a sua posterior análise.

Através da sua interface gráfica, apresentada na Fig. 4.11, é possível observar “*online*” todos os parâmetros anteriormente descritos. Nesta interface é possível definir qual o analisador de energia que se pretende monitorizar e verificar qual o estado da conexão. São apresentados, por fase, os valores eficazes das tensões e das intensidades de corrente. São também apresentadas as potências activas, reactiva e aparente, bem como os valores da energia consumida.

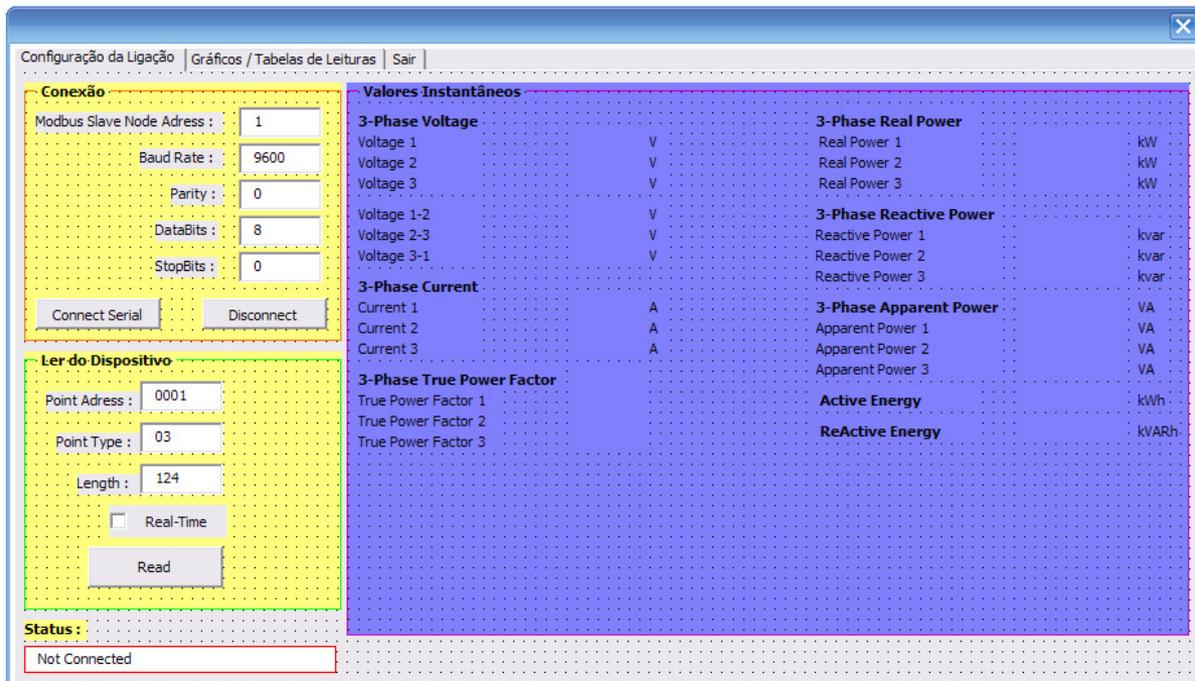


Fig. 4.11 – Interface da aplicação ONLINE desligada

Funcionalidades

A aplicação ONLINE apresenta funcionalidades que permitem ao utilizador ter conhecimento sobre os parâmetros eléctricos que os dispositivos de análise permitem ler.

A aplicação disponibiliza várias funcionalidades estando organizadas da seguinte forma:

Connection Parameters

Connection:



Node Address;

Baud Rate;

Parity;

StopBits;

DataBits;

Connect Serial Button;

Disconnect Button.

Device Options:



Point Address;

Point type;

Length;

Real-Time CheckBox;

Read Button.

Valores Instantâneos:



Tensões simples e compostas (Vef);

Correntes (Ief);

Potências (Activa, Reactiva, Aparente);

Factor de Potência;

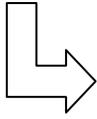
Frequência;

Energia.

Status:

 *Status Message Box.*

Graph



Data Inicial;

Data Final;

Energy Display;

Calculate Button;

Save Button;

Email Button;

Print Button.

No separador **“Connection Parameters”** (Fig. 4.11) é onde se efectuam as configurações de ligação e as configurações do analisador.

Nas configurações de ligação estão disponíveis vários campos sem os quais não seria possível efectuar qualquer ligação. Estas configurações devem estar de acordo com as configurações efectuadas nos analisadores para que a comunicação seja possível. As configurações necessárias são: o número do analisador (*“Node Address”*), a velocidade de comunicação (*“Baud Rate”*), o número de *Bits* de paridade (*“Parity”*), o número de *Bits* de paragem (*“StopBits”*) e o número de *Bits* de dados (*“DataBits”*). Só depois de estas variáveis estarem definidas é possível estabelecer comunicação com um qualquer analisador.

O botão *“Connect Serial”* permite iniciar a ligação com o analisador referenciado nas configurações anteriores e o botão *“Disconnect”* terminar a essa mesma ligação.

No campo opções do dispositivo *“Device Options”* é possível definir algumas opções que podem ser úteis para utilização de analisadores de diferentes marcas e modelos. No caso dos analisadores UPT210, utilizados neste trabalho, os valores encontram-se predefinidos, não sendo necessário efectuar nenhuma alteração aos mesmos.

No caso de utilização de analisadores diferentes devem ser definidos o primeiro endereço de memória (*“Point Address”*), o tipo de função que se pretende utilizar no espaço (*“Point type”*) e o número de endereços que se pretende ler no campo (*“Length”*).

O botão *“Read”* serve para efectuar uma leitura dos valores depois de os anteriores campos estarem devidamente configurados. Ao seleccionar a opção *“Real-Time”* as leituras serão efectuadas de forma automática, a cada 5s.

Caso as configurações não estejam correctas é referenciado o problema, através da caixa de mensagens de estado “Status”. Através destas informações é possível reajustar os valores das opções anteriormente descritas de forma a ser possível colocar a aplicação em funcionamento.

Na janela “Valores Instantâneos” apresenta-se toda a informação “online” de todas as grandezas eléctricas que estão a ser monitorizadas pelo respectivo analisador de energia, como pode ser visto na Fig.4.12.

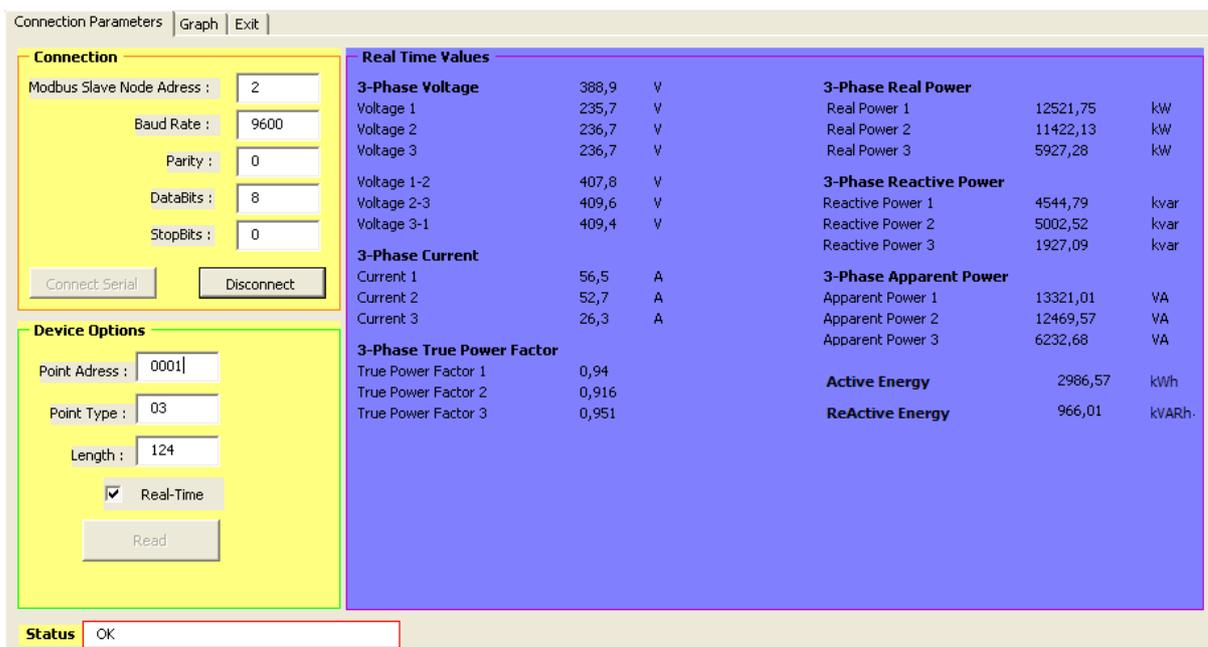


Fig. 4.12 – Interface da aplicação ONLINE ligada

O separador “**Graph**” permite a visualização dos valores de energia quer sob a forma de registo gráfico e tabela, permitindo facilmente a identificação de contribuições temporais e valores de pico, tal como se mostra na Fig. 4.13.

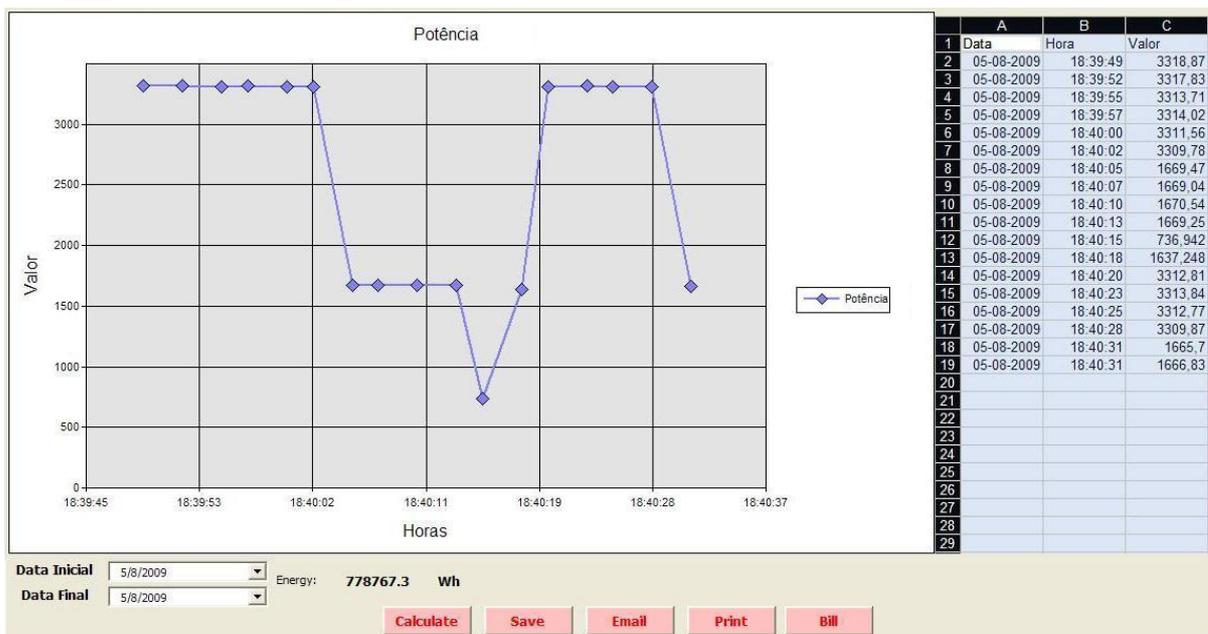


Fig. 4.13 – Diagrama de carga efectuado pela aplicação *ONLINE*

Os campos designados por “Data Inicial” e “Data Final” definem os intervalos de datas que o utilizador pretende visualizar, de acordo com a análise que deseje efectuar. O botão “Calculate” gera um diagrama de carga referente ao intervalo de tempo seleccionado, sendo também apresentados em forma de tabela os dados que servem de base ao gráfico apresentado.

A funcionalidade de gravação de toda a informação para um ficheiro *.xls está disponível através do botão “Save”, sendo ainda possível enviar por correio electrónico todos estes dados através do botão “Email”, ou efectuada uma impressão dos mesmos utilizando o botão “Print”.

Para cada gráfico criado é mostrado de imediato no espaço designado por “Energy” o valor de energia consumida associada ao intervalo de tempo seleccionado.

Na Fig. 4.14 apresenta-se parte da base de dados criada pela aplicação, sendo facilmente perceptível a complexidade de cada leitura efectuada. Estes dados podem constituir-se como elementos importantes em auditorias energéticas.

Hora	T1	T2	T3	I1	I2	I3	P1	P2	P3	P Sistema	FP1	FP2	FP3	Q1	Q2	Q3	Q Sistema	S1	S2	S3	S Sistema
12:33:36	233	233,8	234,7	54,2	6,72	38,7	12194,02	1449,85	8668,08	22311,95	0,97	0,92	0,95	3313,87	604,44	2724,05	6642,36	12636,29	1570,80	9086,04	23293,13
12:33:47	232,8	233,8	234,7	54,1	4,032	38,6	12109,85	868,02	8678,24	21656,12	0,96	0,92	0,96	3437,20	367,15	2564,62	6368,97	12588,20	942,48	9049,26	22579,94
12:34:36	233	233,8	234,6	55,2	6,24	38,7	12450,56	1343,54	8691,63	22485,74	0,97	0,92	0,96	3227,76	568,29	2634,63	6430,67	12862,15	1458,79	9082,16	23403,10
12:34:46	233,1	233,8	234,5	54,1	6,24	38,4	12154,32	1343,60	8637,08	22134,99	0,96	0,92	0,96	3352,55	568,31	2552,45	6473,32	12608,21	1458,85	9006,34	23073,40
12:35:27	233,1	233,5	234,6	54,1	6,24	38,6	12138,06	1342,11	8656,82	22136,99	0,96	0,92	0,96	3396,91	567,68	2624,07	6588,67	12604,43	1457,23	9045,79	23107,44
12:35:37	232,9	233,6	234,6	55,4	7,52	38,6	12287,36	1619,86	8665,87	22573,08	0,95	0,92	0,96	3906,30	680,25	2594,05	7180,60	12893,34	1756,90	9045,79	23696,03
12:35:48	233	233,6	234,5	55,4	8,16	38,7	12418,96	1761,31	8690,15	22870,41	0,96	0,92	0,96	3475,52	728,91	2634,18	6838,60	12896,11	1906,18	9080,61	23882,90
12:37:01	233,4	234	234,8	54,9	6,4	38,6	12283,82	1379,41	8665,31	22328,54	0,96	0,92	0,96	3630,15	583,46	2626,65	6840,25	12808,99	1497,73	9054,66	23361,38
12:37:11	233,2	233,9	234,8	54,7	6,4	38,6	12326,84	1378,46	8682,68	22387,98	0,97	0,92	0,96	3299,18	583,06	2565,93	6448,17	12760,70	1496,70	9053,89	23311,30
12:37:22	233,1	233,8	234,8	57,1	7,52	38,7	13100,51	1622,94	8701,64	23425,08	0,98	0,92	0,96	2372,05	676,60	2637,66	5686,31	13313,53	1758,33	9092,62	24164,47
12:37:33	233,1	233,8	234,6	57,9	7,04	38,7	13473,57	1517,57	8676,42	23667,56	1,00	0,92	0,96	853,42	637,30	2694,74	4185,46	13500,57	1645,95	9085,26	24231,79
12:38:42	232,8	234	234,9	55,7	3,872	38,7	12535,09	833,56	8685,30	22053,95	0,97	0,92	0,96	3302,63	355,10	2697,50	6355,22	12962,86	906,05	9094,55	22963,46
12:38:52	233,1	233,9	234,9	54,9	6,4	39	12342,14	1380,32	8758,20	22480,65	0,97	0,92	0,96	3354,12	579,66	2720,14	6653,91	12789,78	1497,09	9170,89	23457,76
12:39:03	233	233,9	234,8	54,7	6,24	38,6	12288,13	1347,04	8673,26	22308,42	0,96	0,92	0,96	3389,46	561,58	2596,26	6547,30	12747,02	1459,41	9053,50	23259,94
12:39:14	232,7	233,6	234,5	55,7	6,24	38,7	12605,28	1343,85	8680,33	22629,46	0,97	0,92	0,96	2990,10	564,34	2663,72	6218,16	12955,07	1457,54	9079,84	23492,44
12:39:24	233,1	233,6	234,6	54,7	6,4	38,7	12283,82	1376,76	8666,97	22327,54	0,96	0,92	0,95	3437,70	582,34	2723,71	6743,74	12755,78	1494,85	9084,87	23335,50
12:39:35	233	233,5	234,6	54,9	6,56	38,7	12328,82	1410,51	8646,96	22386,29	0,96	0,92	0,95	3400,69	596,61	2780,27	6777,57	12789,24	1531,50	9082,94	23403,67
12:42:34	232,7	233,7	234,5	54,9	6,24	38,4	12311,36	1342,80	8625,86	22280,02	0,96	0,92	0,96	3395,87	567,97	2582,07	6545,91	12771,12	1457,98	9004,03	23233,13
12:42:45	232,5	233,6	234,4	55	7,04	38,4	12335,58	1517,85	8640,92	22494,36	0,96	0,92	0,96	3402,55	632,79	2520,27	6555,61	12796,25	1644,47	9000,96	23441,68
12:42:55	232,3	233,4	234,4	55	6,72	38,6	12300,99	1446,36	8657,37	22404,72	0,96	0,92	0,96	3491,45	607,39	2591,50	6690,35	12786,89	1568,72	9036,92	23392,53
12:43:06	232,4	233,5	234,4	54,9	4,032	38,6	12254,06	865,97	8647,96	21768,00	0,96	0,92	0,96	3526,37	368,90	2621,39	6516,66	12751,37	941,27	9036,54	22729,17
12:43:32	232,7	233,4	234,3	54,7	3,872	38,6	12260,10	833,16	8671,74	21765,01	0,96	0,92	0,96	3431,06	349,88	2529,26	6310,21	12731,16	903,65	9033,07	22667,87
12:43:42	232,9	233,6	234,5	54,7	6,24	38,6	12247,79	1343,79	8635,78	22227,36	0,96	0,92	0,96	3524,56	564,32	2682,12	6771,00	12744,84	1457,48	9042,71	23245,02
12:43:53	232,9	233,6	234,6	54,7	3,712	38,7	12274,86	797,79	8693,48	21766,13	0,96	0,92	0,96	3435,19	339,86	2635,19	6410,24	12746,48	867,16	9084,10	22697,74
12:46:57	232,5	232,9	233,9	54,6	3,232	38,6	12226,43	693,21	8641,12	21560,75	0,96	0,92	0,96	3372,44	293,21	2586,64	6252,29	12683,02	752,67	9019,96	22455,64
12:47:08	232,3	232,9	233,8	55,5	3,232	38,6	12444,82	694,08	8618,65	21757,55	0,97	0,92	0,96	3382,02	291,48	2644,80	6318,30	12896,19	752,80	9015,33	22664,31
12:47:18	232,1	233	233,8	57,6	6,56	38,6	12967,33	1412,01	8617,55	22996,89	0,97	0,92	0,96	3249,92	584,35	2644,46	6478,73	13368,38	1528,15	9014,17	23910,71
12:47:29	232	232,7	233,6	57,3	6,4	38,6	12927,93	1373,35	8630,40	22931,69	0,97	0,92	0,96	3066,63	576,73	2583,43	6226,79	13286,67	1489,54	9008,77	23784,98
12:47:55	231,9	232,7	233,8	54,6	3,552	38,4	12185,90	759,44	8600,11	21545,45	0,96	0,92	0,96	3410,30	325,80	2574,36	6310,46	12654,10	826,37	8977,15	22457,63

Fig. 4.14 – Base de dados criada pela aplicação *ONLINE* ao monitorizar QGBT do DEE

Através destes relatórios é possível comparar o consumo de instalações, equipamentos e/ou serviços similares, responsabilizando os responsáveis de cada departamento ou secção pelos desvios observados.

4.2.2. APLICAÇÃO *LOGGER*

A monitorização das condições de funcionamento numa instalação, dos locais a monitorizar e dos equipamentos, deve permitir determinar o consumo energético das instalações, detectar deficiências no funcionamento dos sistemas e calcular as medidas mais eficientes em termos energético-económicos. Complementarmente pode prevenir e detectar avarias que eventualmente tenham lugar durante uma possível auditoria.

A aplicação *LOGGER* (Fig. 4.15) torna possível o armazenamento contínuo de dados relativos aos consumos de energia activa e reactiva de vários pontos de consumo podendo estes estar separados por edifícios, departamentos, secções ou equipamentos.

Os analisadores de energia podem estar ligados através da Internet ou através de ligações à área local (Ethernet). No primeiro caso, um único servidor é capaz de recolher toda a informação dos n analisadores ligados a m conversores. No segundo caso, cada rede local, caso exista mais do que uma, necessita de um servidor onde ficarão localizadas todos os ficheiros diários.

Com esta aplicação é possível criar um histórico de consumos que poderá ser utilizado para comparação dos consumos entre edifícios, departamentos, secções ou equipamentos idênticos e posterior facturação dos mesmos.



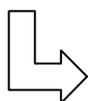
Fig. 4.15 – Aplicação *LOGGER* desligada

Funcionalidades

A aplicação *LOGGER* apresenta uma interface simples, tendo apenas quatro botões e duas caixas de texto onde aparecem informações sobre o funcionamento e estado da aplicação.

A aplicação apresenta as seguintes funcionalidades:

Logger



Connect Serial Button;

Start Button;

Save Button;

Disconnect Button;

Status Message Box;

Slave Message Box.

A aplicação *LOGGER* disponibiliza a informação do número do analisador através da janela central “*Slave Message Box*” onde aparece o “*Slave Node Address*”, endereço do analisador a que a aplicação esta ligada a cada momento, com esta informação o utilizador pode constatar quais os analisadores que estão a ser monitorizados (Fig. 4.16).

Tal como na aplicação *ONLINE* é possível através da caixa de mensagens de estado “Status” saber da ocorrência de qualquer problema de comunicação, sendo assim possível intervir caso seja necessário.

O botão “*Connect Serial*” permite iniciar a ligação com a rede onde estão ligados os vários analisadores e o botão “*Disconnect*” põe fim a essa mesma ligação.

Observando a Fig. 4.16 o botão “*Connect Serial*” esta bloqueado pois a ligação já foi efectuada. Neste momento o utilizador tem disponível a função que dá início ao registo dos valores de energia através do botão (“*Start*”), e a possibilidade de gravar os dados, com o botão (“*Save*”) que se encontra permanentemente disponível. Ao pressionar este botão o utilizador pode guardar ou enviar para uma ou mais contas de correio electrónico um ficheiro com o registo dos valores de energia activa/reactiva de todos os analisadores.

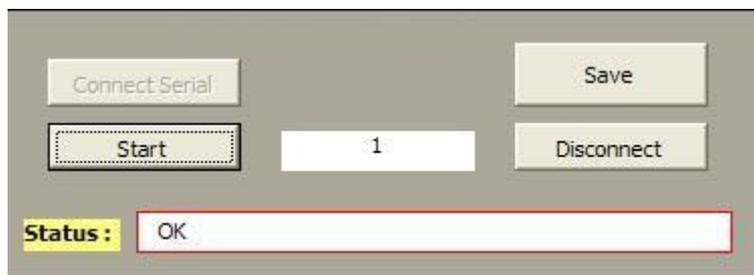


Fig. 4.16 – Aplicação *LOGGER* ligada

A monitorização das condições de funcionamento de alguns dos principais equipamentos de potência elevada deve ser considerada como obrigatória. No entanto, mesmo para equipamentos de menor potência e, para cada instalação, deve ser instalado um equipamento de monitorização sempre que possível.

A aplicação garante a possibilidade de uma análise parcelar (por tipo de energia) e através dos consumos parcelares determinar o consumo total e compará-lo com existente em qualquer ponto de monitorização.

A aplicação *LOGGER* cria ficheiros diários com relatórios dos consumos de energia (Fig. 4.17) por período tarifário, possibilitando desta forma um rastreio ou análise rápida dos dados. Os ficheiros são guardados numa directoria predefinida no disco rígido do computador que se encontra agregado à rede em questão (através da Ethernet) e enviado automaticamente para o servidor que agrega os dados de todas as redes existentes (através da Internet). Está disponível também uma funcionalidade que permite enviar os ficheiros para uma ou mais contas de correio electrónico sempre que se pretender.

Data	Energia Activa				Energia Reactiva			
	Super Vazio	Cheias	Ponta	Vazio Normal	Super Vazio	Cheias	Ponta	Vazio Normal
28-05-2009	213122	896666	193332	223345	104430	439366	94733	109439
29-05-2009	313244	179393	834274	646545	153490	87903	408794	316807
30-05-2009	432414	169333	342554	358634	211883	82973	167851	175731
31-05-2009	132341	199343	121235	109666	64847	97678	59405	53736
01-06-2009	392761	189123	191239	209161	192453	92670	93707	102489
02-06-2009	372351	249443	125611	596662	182452	122227	61549	292364

Fig. 4.17 – Formato do ficheiro de registo criado diariamente para cada analisador de energia

Através da criação de relatórios de consumo (Fig. 4.17) de um número ilimitado de pontos de medição, localizados em uma ou mais complexos, é possível medir os custos reais incorridos nos diversos sectores, departamentos, ou mesmo em equipamentos críticos, com benefícios imediatos: transparência da contabilidade, conhecimento dos custos das actividades, ajuste da política de tarifas contratadas, investimento em novos equipamentos.

A informação recolhida é armazenada em ficheiros distintos, cada qual com a identificação do contador proveniente e a data a que se refere. Com isto torna-se possível comparar consumos em locais distintos. A aplicação lista de forma clara o valor da energia activa e reactiva de cada dispositivo que se encontre ligado a rede, separando os valores de consumo pelos respectivos períodos tarifários, facilitando assim a posterior análise dos mesmos.

4.3. ESPECIFICAÇÃO E UTILIZAÇÃO

Com estas aplicações é possível recolher dados relativamente aos consumos energéticos diários, traçar diagramas de carga, criar registos de consumos por departamento, efectuar a facturação separada, identificar picos de energia e possíveis falhas. Refira-se ainda que estas aplicações são especialmente indicadas para grandes complexos, com inúmeros pontos de medida, pois existem soluções para complexos de menor dimensão que serão certamente mais económicas, todavia este sistema também pode ser utilizado nesse tipo de complexos.

Este sistema funciona em simultâneo com analisadores de energia em sistemas monofásicos e trifásicos, dando assim resposta a variáveis de sistemas eléctricos ou equipamentos totalmente distintos.

Para a certificação do funcionamento do projecto, foi necessária a realização de vários testes práticos para que pudesse ser feita a validação do funcionamento do mesmo. A dinâmica de desenvolvimento adoptada neste trabalho foi testar cada etapa separadamente à medida que se desenvolvia o trabalho. Inicialmente os testes foram efectuados recorrendo a

programas de comunicação Modbus (Fig. 4.18) de forma a correcta configuração dos equipamentos.

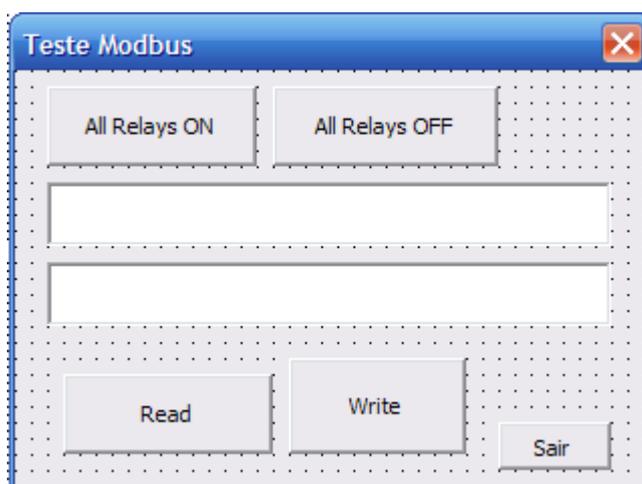


Fig. 4.18 – Aplicação de teste de comunicação

Posteriormente, com o auxílio dos restantes equipamentos (conversor PD8 Ethernet-RS485 e Transformadores de Intensidade), foram feitos os ajustes necessários para que as medições espelhassem os valores correctos.

A partir desse momento desenvolveu-se a parte de comunicação (Fig. 4.19) tornando-se assim possível efectuar testes práticos com cargas reais. Na Fig. 4.20 apresenta-se um exemplo de teste efectuado com um carga resistiva monofásica.

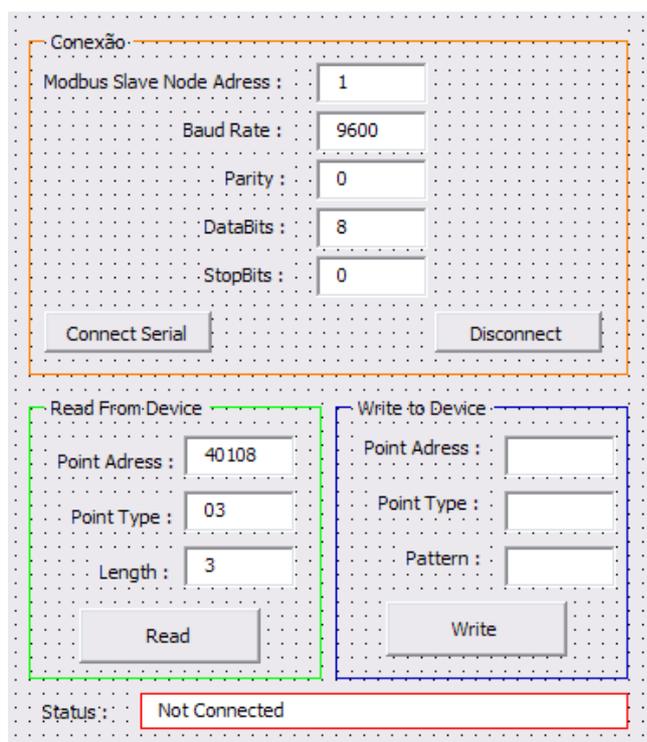


Fig. 4.19 – Aplicação de teste de comunicação com protocolo Modbus

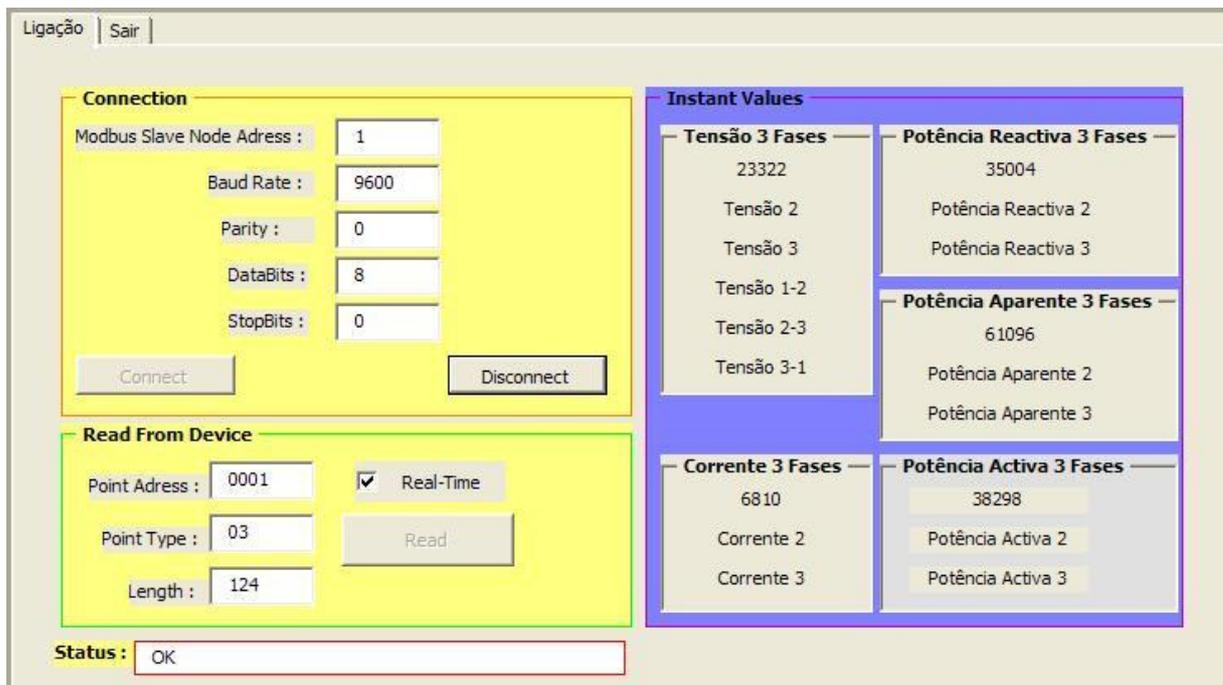


Fig. 4.20 – Exemplo de teste com uma carga resistiva monofásica

De seguida foram desenvolvidas todas as bases de dados necessárias ao armazenamento dos valores recolhidos pelos vários analisadores de energia, para que toda a informação ficasse devidamente guardada. Estes valores foram já apresentados nas Fig. 4.14 e 4.17. Nesta fase fizeram-se as calibrações finais dos registos que contêm os valores responsáveis pelas análises pretendidas.

O Energy Monitor é um sistema viável, como acima demonstrado vindo preencher uma relevante lacuna nos sistemas de monitorização de energia existentes no mercado.

A introdução da possibilidade de análise “online” dos parâmetros eléctricos é uma mais-valia face aos sistemas existentes no mercado. Nesse sentido, conclui-se que este sistema para além de introduzir a possibilidade de efectuar análises mais abrangentes é ainda potenciador de um elevado valor de informação, permitindo aos seus utilizadores tomarem decisões seguras.

Após terem sido efectuados vários testes, ajustes e comparações dos valores obtidos com as aplicações, reuniu-se toda a informação e deu-se por terminado o desenvolvimento do Energy Monitor.

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES

Sumário - Neste capítulo, apresentam-se as conclusões finais da presente dissertação, bem como as avaliações dos objectivos apresentados no início deste documento. Resumem-se as ideias e contribuições principais do trabalho e consideram-se igualmente ideias de investigação complementares.

5.1. SÍNTESE DAS APLICAÇÕES INFORMÁTICAS E CONTRIBUIÇÕES

Hoje existem vários tipos de ferramentas comerciais no mercado que podem ser usadas para monitorizar a energia e detectar problemas de forma a realizar estudos de gestão de energia. No entanto, quando estes equipamentos apresentam bons desempenhos e características são geralmente muito dispendiosos.

A grande vantagem do Energy Monitor é o facto possibilitar duas formas distintas de monitorização. É possível visualizar “*online*” vários parâmetros energéticos (tensões, correntes, potências, factor de potência, frequência) de um dado analisador de energia, através da aplicação *ONLINE*. Por outro lado, permite registar os valores da energia activa e reactiva, de vários analisadores em simultâneo, separando automaticamente esta energia pelos vários períodos tarifários (cheia, vazio normal, super-vazio e ponta), através da aplicação *LOGGER*.

A comunicação é efectuada por recurso ao protocolo Modbus RTU, sendo que toda a execução é feita através da Ethernet ou Internet o que favorece a implementação deste sistema em grandes complexos evitando a necessidade de considerar cablagem em toda a área. A cablagem tem custos de implementação extremamente elevados, sendo que por vezes implica que o sistema se torne inexecutável.

Normalmente a implementação de sistemas de monitorização de consumos de energia utilizam conversores de rede RS-232 para rede RS-485, indicando a necessidade de um computador em cada rede implementada. O “*Energy Monitor*” permite a monitorização dos consumos de energia de várias redes necessitando apenas um computador para monitorizar todo o processo. Para tornar isso possível foram utilizados conversores RS-485/Ethernet, analisadores de energia e um PC normal onde se correm as aplicações desenvolvidas em “*Visual Basic for Applications*” em execução no sistema operativo *Microsoft Windows*.

O sistema possibilita a análise dos parâmetros eléctricos que os analisadores permitem recolher de forma “*online*”, criando com os valores gráficos e tabelas que facilitam monitorização dos consumos efectuados num complexo com inúmeros pontos críticos de consumo de energia. Disponibiliza funcionalidades como o envio dos dados recolhidos para contas de correio electrónico, impressão ou o simples arquivo dos dados recolhidos num ficheiro de forma a poderem ser posteriormente revistos e/ou analisados.

Através da aplicação “*LOGGER*” o sistema efectua o registo dos valores de consumos de energia activa e reactiva separando-os por analisador, reportando ainda toda a informação recolhida a cada intervalo de 24h para um servidor onde são guardados todos os ficheiros diários. Estes dados podem por opção ser enviados também de forma periódica para endereços de correio electrónico.

O sistema através de funções de “*Status*” desenvolvidas, informa através de mensagens qual o estado da ligação de cada rede implementada, reportando anomalias ao utilizador através de mensagens simples no espaço criado para o efeito.

O sistema desenvolvido é flexível, apresenta uma interface amigável e uma grande capacidade de armazenamento de dados (usando o disco rígido do PC para o efeito).

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema de monitorização de consumos de energia eléctrica, que pode ser muito útil para instalações industriais ou comerciais, apresentando um custo reduzido de plataforma. Tanto o hardware como o software contribuem para que se tenha obtido um sistema completo de baixo custo, uma vez que, para além do reduzido custo do equipamento, este sistema pode ser instalado utilizando redes Ethernet já existentes. A sua utilização em grandes complexos é assim facilitada devido ao facto de permitir ultrapassar eventuais limitações de distância.

Os objectivos desta dissertação foram alcançados, sendo este um sistema de monitorização de energia que permite não só a análise “*online*” dos parâmetros eléctricos nos vários pontos de consumo, como efectua o registo da energia activa e reactiva nos vários pontos de consumo, sendo um sistema de baixo custo.

5.2. PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO

No trabalho realizado foram identificados vários aspectos complementares que permitem traçar linhas de investigação futuras, entre os quais são de destacar os seguintes:

- Análise dos consumos de gás;
- Análise dos consumos de água;
- Análise da produção de energia renovável;
- Histórico dos respectivos custos associados e de variáveis ambientais.

Com o decorrer deste trabalho foi perceptível que os elevados consumos que se praticam em grandes complexos não são apenas de carácter eléctrico. Também esses outros consumos são passíveis de serem controlados ou reduzidos. Desta forma, uma evolução natural do Energy Monitor será a integração de todos os consumos de energia.

Trabalhos como este podem ser utilizados para posteriores análises em meios sociais altamente consumistas, onde o consumo não tem restrições, não existe controlo, nem responsabilização pelos actos de cada um.

REFERÊNCIAS

- [1] - <http://www.rtaautomation.com/modbusrtu/> (visto em 26/12/2009)
- [2] - <http://www.ambienteonline.pt/noticias/detalhes.php?id=6316> (visto em 26/12/2009)
- [3] - <http://www.energylens.com/oUPTuts> (visto em 26/12/2009)
- [4] - <http://www.hughes-energy.com/MT/H-EMS.aspx> (visto em 26/12/2009)
- [5] - <http://www.qenergia.pt/120/contagem-de-energia-wireless.htm> (visto em 26/12/2009)
- [6] - <http://www.optimalcomms.net/OptimalSystem/Overview.aspx> (visto em 26/12/2009)
- [7] - <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/default.aspx> (visto em 26/12/2009)
- [8] - http://homepage.ufp.pt/~lmbg/textos/norma_osi.html (visto em 26/12/2009)
- [9] <http://www.algodue.com/> (visto em 26/12/2009)
- [10] <http://www.lumel.com.pl/en/> (visto em 26/12/2009)
- [14] - <http://www.modbus.org/> (visto em 26/12/2009)
- [15] - http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [11] - Implementación de una Red MODBUS/TCP, Andrés F . Ruiz Olaya, Asfur Barandica López, Fabio G. Guerrero Moreno
- [12] - International Journal of Information Technology & Decision Making Vol. 2, No. 4 (2003) 669–681, World Scientific Publishing Company
- [13] - Engineers Journal | Volume 63: Issue 1 | January/February 2009
- [16] - REDES INDUSTRIAIS - Aplicações em Sistemas Digitais de Controlo Distribuído Pedro Albuquerque e Auzuir Alexandria - 2007
- [17] - Data Communications for Instrumentation and Control Steve Mackay, Edwin Wright, John Park -2003
- [18] - Automation Network Selection - Dick Caro - 2004
- [19] - J.J. Grainger, W.D. Stevenson, Power System Analysis, McGraw-Hill, 1994.
- [20] - J.D. Glover, M. Sarma, Power System Analysis and Design, PWS-KENT, 1989.

ANEXO A: MANUAL DE INSTALAÇÃO / PERSONALIZAÇÃO

INSTALAÇÃO

Nesta secção far-se-á uma análise relativamente aos ficheiros necessários para o bom funcionamento das aplicações desenvolvidas. Todos os passos aqui descritos devem ser efectuados para que não existam erros no funcionamento nas aplicações.

Uma das configurações mais importantes é a frequência de amostragem, esta frequência pode ser estabelecida pelo utilizador, podendo ir de 1seg, até 24h.

A aplicação tem como valor pré-definido 5s, pois para a situação que se pretendia estudar era o intervalo de tempo que fazia sentido, todavia este valor deve ser alterado de acordo com tipo de análise que se pretende efectuar, face ao número de contadores que se encontram na rede.

O protocolo Modbus define uma série de funções as quais são necessárias para o funcionamento da aplicação, o primeiro passo que se deve efectuar uma cópia para a pasta **c: \windows\system** no disco rígido do computador onde devem constar dois ficheiros essenciais:

- MbMasterV7.ocx – ActiveXcontrol;
- Modbusm.dll.

Depois de colocados na pasta, devemos passar por referência os ficheiros no VBA (*Visual Basic for Applications*) tal como está demonstrado na Fig. B.

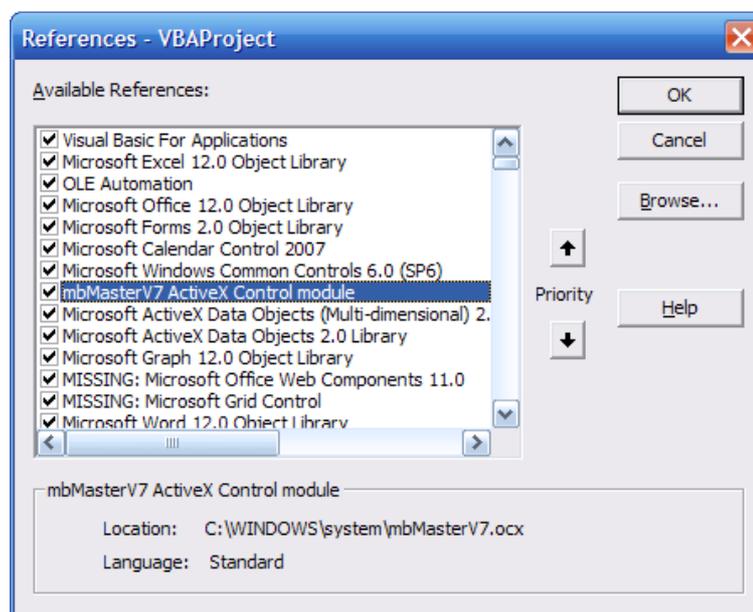
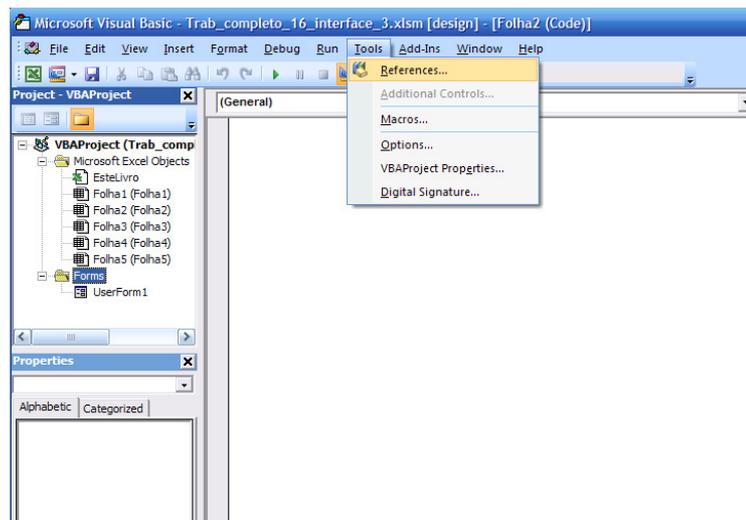


Fig. B - Passagem do Protocolo por referência em VBA

Deve gravar as alterações efectuadas e reiniciar o computador, em seguida as aplicações *ONLINE* e *LOGGER* já devem estar disponíveis para correr conforme desejado.

PERSONALIZAÇÃO

Existem vários parâmetros que podem ser personalizados no Energy Monitor.

Serão descritos nesta secção os mais importantes, tais como:

- Intervalo de tempo entre leituras;
- Guardar Relatórios;
- Ajuste Tarifário;

O intervalo de tempo entre leituras pode ser personalizado pelo utilizador alterando o seguinte parâmetro de código presente na função *“Private Sub MbMasterV71_SlaveReadResponse”*:

PauseTime = 5

Este valor encontra-se predefinido para 5s (mínimo testado).

O sistema grava relatórios diários dos consumos de energia, este parâmetro pode ser alterado na função *“Private Sub MbMasterV71_SlaveReadResponse”* no seguinte parâmetro:

MyTime = Time

A aplicação *Logger* efectua o ajuste automático do período tarifário, todavia este período pode-se alterar de ano para ano, desta forma é necessário efectuar reajustes no seguinte código da função *“Private Sub MbMasterV71_SlaveReadResponse”*:

Data1 = CLng(CDate("1/1"))

Data2 = CLng(CDate("31/1"))

Data3 = CLng(CDate("1/10"))

Data4 = CLng(CDate("31/12"))

Após a introdução das datas correctas de inicio de cada período, o sistema gera os relatórios de forma completamente automática.