

Monitorização remota de grandezas ambientais

Henrique Serra, João Correia

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
Departamento de Electrónica
Estrada do Paço do Lumiar, 1649-038 Lisboa, Portugal

Resumo

A medição de temperatura e humidade em espaços fechados (laboratórios de metrologia, estufas de secagem de madeira, armazéns frigoríficos, etc.) necessita de monitorização em múltiplos pontos afastados. Actualmente, existe uma tendência para a interligação de dispositivos por rádio frequência, sendo uma solução mais flexível e simples que a tradicional ligação por fio. Os sistemas de monitorização ambiental existentes seguem esta tendência, mas constituem uma solução dispendiosa quando é necessária a instalação de vários módulos sensoriais. Neste artigo descreve-se um sistema de telemetria de grandezas ambientais. A topologia de ligação empregue é do tipo *Master-Slave*. O sistema foi desenhado para ligação a dois tipos de transdutores disponíveis comercialmente, podendo no entanto ser desenvolvidas outras interfaces para outros tipos de grandezas de baixa frequência. Comunica igualmente com um computador pessoal por RS232. O *software* do computador pessoal foi desenvolvido em *Visual Basic* permitindo a visualização dos valores instantâneos das grandezas já referidas e o armazenamento dos dados em ficheiro para visualização temporal ou outro tipo de processamento. Descreve-se o *hardware* e *software* desenvolvidos e apresentam-se alguns resultados obtidos num ambiente controlado.

Palavras chave: Monitorização remota, Unidades remotas, Rádio frequência, Monitorização ambiental, Autoalimentadas, Múltiplos pontos.

1 Introdução

As normas comunitárias para o registo de temperatura e humidade em laboratórios de metrologia ou em câmaras frigoríficas de conservação de alimentos, levaram à necessidade de efectuar a sua monitorização, registo e posterior tratamento estatístico. Este procedimento é feito ainda em muitos casos por processos manuais recorrendo a registadores de papel ou *data loggers* sem ligação remota a um sistema computadorizado que torne mais versátil e eficiente a sua análise. Para além disso, esses sistemas obrigam a ligações entre os transdutores e a unidade de registo por fio, o que torna pouco prática a sua instalação, nomeadamente se o número de transdutores for elevado. Por outro lado

essa solução torna morosa a consulta de registos e não permite determinar automaticamente pontos críticos.

Actualmente sempre que exista necessidade de diálogo entre dois dispositivos, essa comunicação é efectuada recorrendo à telemetria. Esta técnica consiste em adquirir dados em vários pontos inacessíveis ou inconvenientes, em que a transmissão é efectuada, para uma localização conveniente sendo os dados apresentados numa forma utilizável [1].

Em telemetria moderna é quase sempre utilizada a transmissão via rádio ou feixe de luz. No entanto podem existir locais sujeitos a interferências pondo em risco as comunicações referidas.

Foi desenvolvido um sistema de baixo custo, para monitorização remota de condições ambientais, por telemetria que será descrito no parágrafo seguinte.

2 Descrição do sistema

2.1 Objectivos e especificações

Para o sistema desenvolvido pretendia-se uma automatização dos processos de leitura, registo e posterior tratamento de resultados. Este sistema deveria ser formado por um conjunto de sensores remotos inteligentes [3], e uma unidade concentradora.

Cada sala a monitorar deverá conter o sistema já referido (unidade centrar mais as unidades remotas necessárias). Deverá ainda existir um sistema de supervisão que permitirá o diálogo com as unidades centrais através de uma rede de energia eléctrica ou através de uma rede distribuída do tipo *CanBus*, *FieldBus* ou outra.

As condições de funcionamento do referido sistema deverão monitorar a temperatura entre os 0 e 50 °C e a humidade entre os 25% e os 90% RH.

2.2 Arquitectura do sistema (TDM-PCM).

O sistema de telemetria desenvolvido utiliza como meio de transmissão as ondas de rádio. Dispõe de unidades de emissão e recepção, e de processamento dos sinais. A gravação, visualização e processamento da informação são assegurados por um computador pessoal. Os sinais medidos e digitalizados são multiplexados no tempo, modulados e transmitidos através de uma antena.

A técnica TDM-PCM [2] aqui utilizada, possui uma característica que a torna vantajosa em relação a outras, nomeadamente a flexibilidade em relação ao número de canais e frequências de amostragem, a transmissão de dados precisos sem degradação na ligação por *RF* (devido por exemplo ao ruído) e melhor eficiência na utilização da largura de banda disponível.

Sendo a ligação efectuada por rádio frequência, cada unidade remota terá de ser autoalimentada, tendo a preocupação de minimizar o consumo. Isto é possível ligando a unidade remota em intervalos de tempo finitos e programáveis.

2.3 Hardware

Como já foi referido, o sistema foi desenvolvido com base numa arquitectura distribuída em que cada unidade remota (sensor inteligente) comunica com uma unidade central por rádio frequência. Esta por sua vez comunica em série com um computador pessoal. O diagrama de blocos do sistema encontra-se ilustrado na Fig. 2-1.

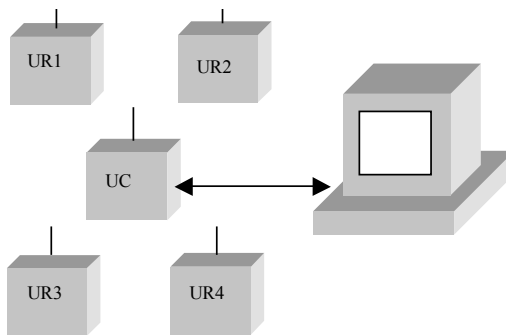


Fig. 2-1 – Diagrama de blocos do sistema desenvolvido

2.3.1 Unidade remota

Cada unidade remota envia os sinais de temperatura, humidade e tensão da bateria, utilizando as técnicas de telemetria referidas no parágrafo anterior. A frequência legalmente atribuída foi a de 433.92 MHz , sendo a potência máxima de emissão de 10 mW . Foram utilizados emissores e receptores de baixo custo disponíveis comercialmente.

Para realizar as tarefas inerentes a este módulo, foi utilizado o microcontrolador *PIC16C73* [4]. Este minimiza o consumo da electrónica, desligando a alimentação de todos os circuitos, podendo ainda minimizar o seu consumo entrando num modo *sleep*.

Cada módulo sensor possui um conjunto de parâmetros de calibração e identificação, para que aquando da sua instalação seja reconhecido automaticamente pela unidade central. Estes parâmetros encontram-se numa *EEPROM*. O circuito de medida da humidade é baseado num transdutor capacitivo com um coeficiente de variação com a

humidade de $0.33\text{ pF}/\%RH$. Assim sendo é possível gerar um impulso de largura proporcional, à saída de um circuito monoestável. A duração do impulso é dada por $\tau = 1,1.Rs.C$. A leitura da largura deste impulso é feita utilizando um contador a 16 bits interno ao microcontrolador permitindo uma precisão de 1 us dado ser esta a base de tempo do relógio associado ao contador. Utilizando uma resistência de $10\text{ M}\Omega$ consegue-se uma variação na constante de tempo de $\Delta\tau = 1,1.Rs.(C_{max}-C_{min}) = 363\text{ }\mu\text{s}$ o que corresponde a 363 níveis de quantificação para o sinal. A resolução é assim de $\frac{100\%}{363} = 0,27\%RH$.

Para a medida de temperatura utilizou-se um sensor integrado (*LM335*) que possui um coeficiente de $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Para a digitalização dos sinais de temperatura e tensão da bateria, foi utilizado um conversor de 8 bits interno ao microcontrolador. O erro máximo associado é de 1 LSB de erro relativo ao fim de escala ou $0,4\%FS$.

A Fig. 2-2 mostra o esquema eléctrico da unidade remota.

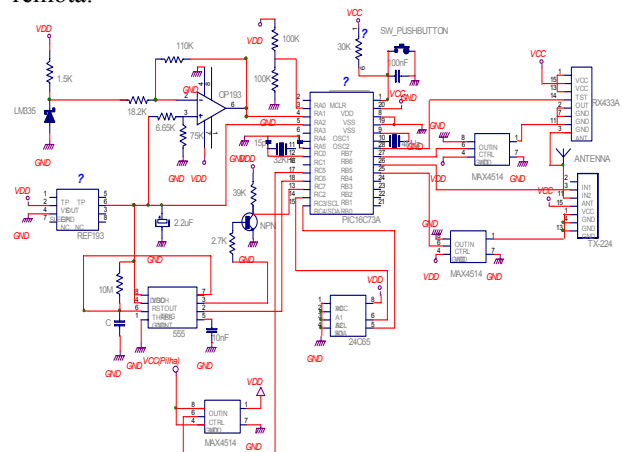


Fig. 2-2 – Esquema eléctrico da unidade remota

2.3.2 Unidade Central

A unidade central tem responsabilidade de recolher os dados recebidos por rádio frequência das unidades remotas e enviá-los por *RS232* para um computador pessoal.

O emissor utilizado na unidade central é idêntico ao que foi usado nas unidades remotas. O receptor é do tipo regenerativo, oferecendo melhor sensibilidade e selectividade, que os utilizados nos referidos módulos. O seu consumo é mais elevado, mas esse facto é irrelevante dado que a unidade central é alimentada através da rede de energia eléctrica.

A Fig. 2-3 mostra o circuito eléctrico da unidade central.

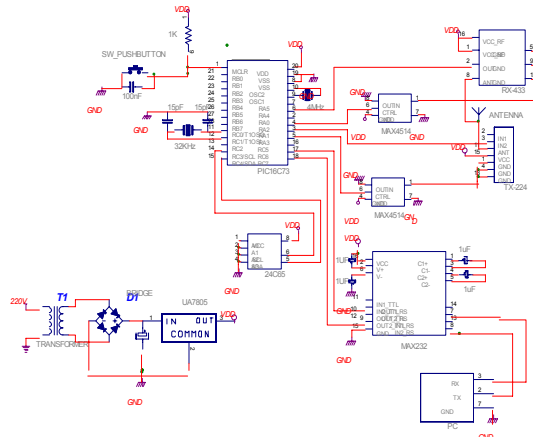


Fig. 2-3 – Esquema eléctrico da unidade central

Na Fig. 2-4 pode ser observado o protótipo desenvolvido: uma unidade central e duas unidades remotas.



Fig. 2-4 – Fotografia do protótipo desenvolvido

2.4 Software

2.4.1 Unidade remota

Cada unidade remota tem a seu cargo a aquisição de um conjunto de sinais, nomeadamente a temperatura, humidade relativa e tensão da bateria de alimentação. O *software* desenvolvido está dividido em três módulos: Controlo, aquisição e comunicação de dados. No primeiro caso, o programa principal efectua o controlo das várias tarefas a realizar pela unidade remota, nomeadamente a gestão do consumo de energia. O módulo de comunicação assegura o envio e recepção de comandos ou outros parâmetros relevantes a serem programados nas unidades remotas e a transmissão de dados ou parâmetros para a unidade central.

O fluxograma do programa principal encontra-se ilustrado na Fig. 2-5.

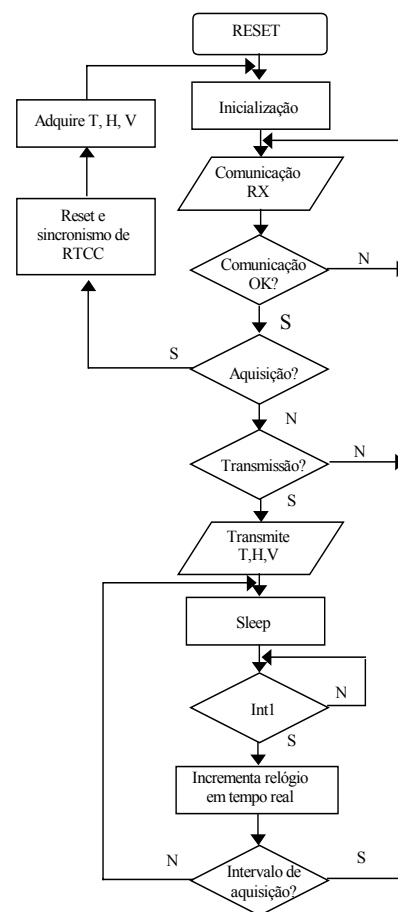


Fig. 2-5 – Fluxograma do programa principal da UR

A comunicação de dados com a unidade central é feita com base numa trama de N bytes. A codificação escolhida para os *bits* 0 e 1 é a indicada na Fig. 2-6.

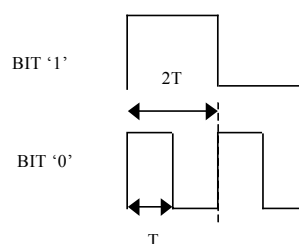


Fig. 2-6 – Codificação temporal dos bits

O sincronismo de cada trama é assegurado pelo envio de uma sequência fixa de 10 seguida de um intervalo $2T$ com a tensão a zero, como mostra a Fig. 2-7.

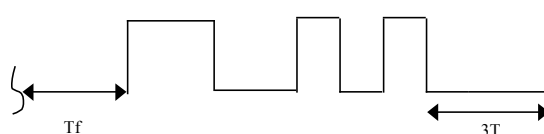


Fig. 2-7 – Sequência usada no sincronismo das tramas

Entre duas tramas consecutivas é estabelecido um intervalo de tempo T_f fixo.

O algoritmo de leitura dos *bits* recebidos tem por base a duração total de um *bit*, contando o número de transições, num intervalo de tempo $\left(3 + \frac{1}{2}\right)T = \frac{7}{2}T$,

sendo que ao *bit 1* corresponde a duas transições, e ao *bit 0* a quatro transições. Para evitar que sejam contabilizados impulsos de curta duração devidos ao ruído, são eliminadas transições em dois instantes de medida consecutivos.

Para que o algoritmo de leitura dos *bits* recebidos seja capaz de se ajustar a pequenos desvios na duração dos impulsos, é feita uma aprendizagem inicial dessa duração. Durante a fase em que é detectado o início da sequência, são medidos os intervalos T_1 e T_2 respectivamente do patamar positivo e nulo do *bit 0*, como mostra a Fig. 2-8.

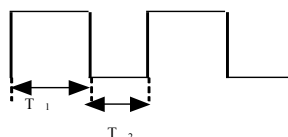


Fig. 2-8 – Aprendizagem de largura de impulsos

Para o sincronismo de trama a linha é inicialmente monitorizada; se esta se mantém a zero no intervalo $\frac{T_f}{2} < t < 2T_f$ passa-se à fase seguinte. Se for detectada de seguida uma sequência *10* que obedeça a temporizações pré-definidas para a duração dos referidos impulsos, é feita a aprendizagem da duração real dos impulsos, conforme já descrito. É medido de seguida o tempo a que a linha está a zero após a recepção da sequência *10*. Esse tempo deve ter uma duração mínima igual a T_2 e máxima igual a $\left(1 + \frac{1}{2}\right)T_2 = \frac{3}{2}T_2$.

A dimensão da trama enviada pelas unidades remotas é de 6 *bytes*. Para uma duração de 1,4 *ms* por *bit* temos um tempo total de 67 *ms*.

2.4.2 Unidade Central

O *software* desenvolvido para a unidade central pode ser dividido em três partes: controlo local, comunicação e interface com o computador pessoal. O controlo local inclui a gestão dos intervalos de aquisição, o controlo da comunicação com as unidades remotas e finalmente o controlo da comunicação com o computador pessoal.

O núcleo de comunicação com as unidades remotas é em tudo semelhante ao descrito no parágrafo 2.4.1.

A Fig. 2-9 descreve a sequência de acções associadas ao controlo local.

Dado que o número de unidades remotas implementadas no protótipo é reduzido, a unidade central envia imediatamente por RS232 os dados recebidos em vez de os guardar temporariamente.

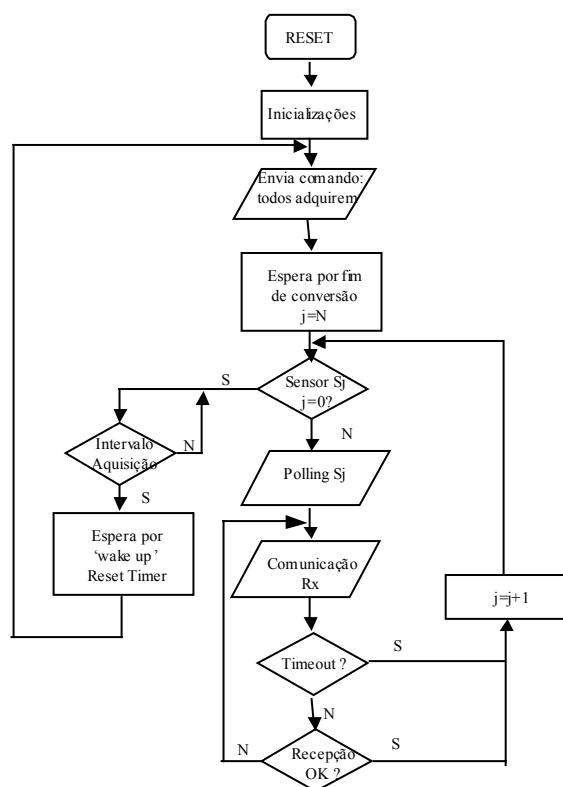


Fig. 2-9 – Fluxograma do programa principal da UC

A unidade central solicita periodicamente todas as unidades remotas a adquirirem, indicando simultaneamente qual o intervalo de aquisição; pedindo de seguida os dados, individualmente.

Como interessa reduzir ao mínimo o consumo de energia das unidades remotas, estas entram em modo de baixo consumo logo após terem enviado com sucesso a informação. Se fossem inquiridas sempre pela mesma ordem, estas consumiriam de forma desigual. Por isso, em cada instante de amostragem, é invertida a ordem de pedido dos dados.

O diagrama temporal do processo de comunicação é ilustrado na Fig. 2-10:

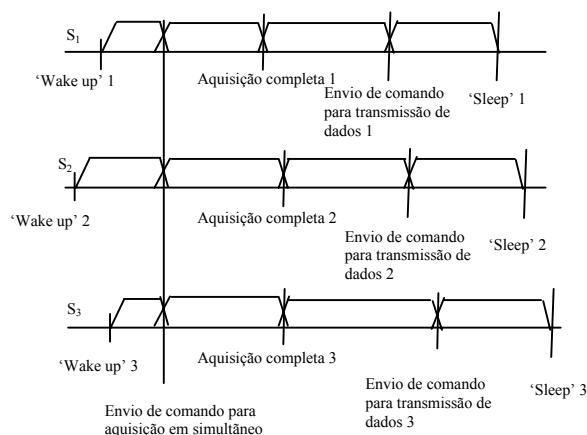


Fig. 2-10 - Diagrama temporal da comunicação

O tempo que cada unidade remota leva a comunicar com a unidade central, acrescido do tempo que esta leva a enviar os dados para o computador pessoal, estabelece uma relação entre o número máximo de unidades remotas e o intervalo mínimo de aquisição. A Tabela 1 ilustra essa relação para o caso de intervalos de aquisição mínimos entre 10 e 60 segundos, admitindo que o tempo de comunicação total por sensor de 170 ms (obtido experimentalmente, para um *baud rate* de 2400 *bits/s* entre a unidade central e o computador pessoal).

Tempo mínimo (s)	Nº máx. de sensores
10	58
20	117
30	176
40	235
50	294
60	352

Tabela 1 – Relação entre número máximo de sensores e intervalo de aquisição.

O concentrador de informação consiste num computador pessoal utilizado como interface entre o operador e o sistema remoto de medida. Armazena os dados recolhidos, reconfigura o sistema (intervalo de aquisição, número de sensores, etc.) e possibilita a visualização gráfica das grandezas medidas. A interface com o utilizador e de visualização de dados foi desenvolvida em *Visual Basic* conforme mostra a Fig. 2-11.

A interface dispõe de um conjunto de funcionalidades como sejam: detecção automática do estado da UC, com indicação visual, programação do intervalo de amostragem das UR's, visualização do

perfil de temperatura, humidade ou tensão da bateria segundo o intervalo de tempo escolhido.

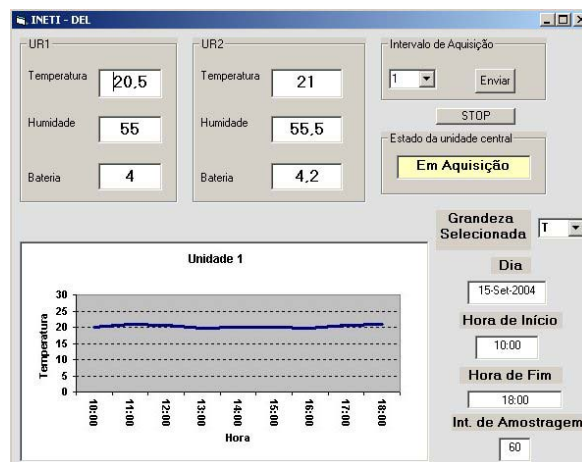


Fig. 2-11 - Interface com o utilizador

3 Resultados obtidos

Para o ensaio funcional do protótipo deste sistema, foram instalados as unidades remotas em paralelo com os sensores utilizados, num sistema laboratorial de calibração existente no Laboratório de Metrologia Eléctrica (LME) do INETI. Os valores de temperatura, medidos pelo sistema de calibração, foram comparados com os valores obtidos com o protótipo realizado. Idêntico procedimento foi efectuado para as medidas da humidade.

Na Fig. 3-1 representa-se a curva de calibração do sensor de temperatura.

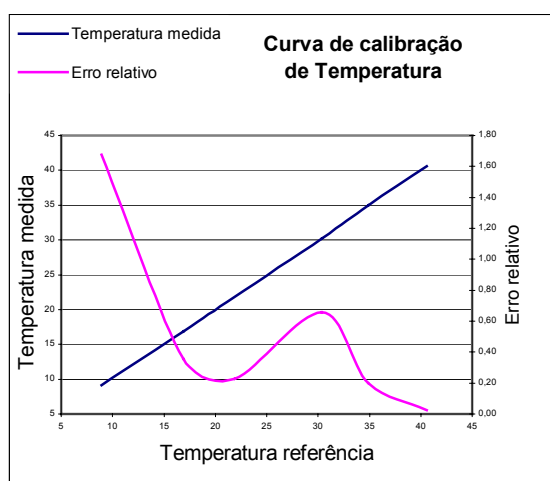


Fig. 3-1 - Curva de calibração do sensor de temperatura

Na Fig. 3-2 representa-se a curva de calibração do sensor de humidade.

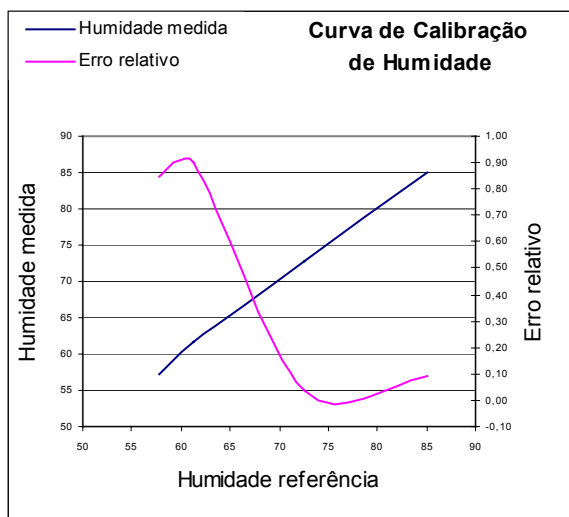


Fig. 3-2 - Curva de calibração do sensor de humidade

O erro relativo para o sensor de temperatura é inferior a 2% e para o sensor de humidade inferior a 1%.

Em relação à autonomia das unidades remotas, o consumo medido em modo *sleep* foi de $1,8\text{ mA}$ e em modo de transmissão foi de $4,5\text{ mA}$. Como as unidades se encontram a maior parte do tempo em *sleep*, podemos partir do princípio que o consumo médio é inferior a 2 mA . Para uma bateria de Lítio de 1.8 A (tipo telemóvel) temos uma autonomia de 900 horas ou 37 dias. Esta autonomia pode ser melhorada utilizando os recentes microcontroladores da família *nanowatt* que apresentam um consumo significativamente inferior em modo *sleep* [4].

4 Conclusões

Apresentou-se um sistema de monitorização remota de grandezas ambientais de baixo custo a utilizar na monitorização de temperatura e humidade de espaços fechados, nomeadamente laboratórios de metrologia e câmaras frigoríficas.

Divulgaram-se os resultados da aplicação de um protótipo de avaliação funcional num ambiente controlado em temperatura e humidade.

Conclui-se que apresenta um bom desempenho nesta fase do desenvolvimento. Perspectiva-se deste modo a sua aplicabilidade neste domínio emergente, destacando-se as seguintes vantagens:

- Menor custo em relação a sistemas comercialmente existentes.
- *Hardware* e *Software* otimizados, permitindo uma utilização simples com funcionalidades facilmente adaptáveis a situações de monitorização específicas, por recurso à

parametrização e configuração disponibilizada pelo sistema.

- Armazenamento em computador pessoal da informação por períodos de tempo alargados.
- Devido ao baixo custo estimado, o sistema pode ser facilmente incluído de uma forma permanente na instalação, permitindo uma avaliação contínua da evolução das grandezas medidas, possibilitando também a deteção automática de valores que possam conduzir a situação de alarme.

5 Referências

- [1] O. J. Strock, "Introduction to Telemetry", Instrument Society of America, ISBN: 0876649800.
- [2] Frank Carden, "Telemetry Systems Design", Artech House Inc, ISBN 0-89006-800-3.
- [3] Randy Frank, "Understanding Smart Sensors", Artech House 2000, ISBN 0-89006-311-7.
- [4] <http://www.microchip.com>.