

**Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade de Coimbra**

Telemedida de vibrações em estruturas e em galerias subterrâneas



João Roupção Simões Pena dos Reis

**Laboratório de Automação e Instrumentação Industrial
2010**

*“Se o engenheiro sempre não era engenheiro
E a rapariga ficou com uma engenhoca nos braços”
Alexandre O’neill*

Índice

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	ESTRUTURAÇÃO E FORMAS DE EXPLORAÇÃO	10
2.1	Contextos de exploração.....	10
2.2	<i>Standards</i> e legislação aplicável	14
2.3	Requisitos de um sistema de monitorização de vibrações.....	17
2.3.1	<i>Sensorização – critérios e tecnologias</i>	17
2.3.2	<i>Requisitos da rede de sensores e tecnologias de suporte</i>	20
2.3.2.1	<i>Integração de sensores inteligentes</i>	20
2.3.2.2	<i>Redes de sensores e comunicações</i>	25
2.3.2.3	<i>Acesso remoto e acesso à internet – conceitos e tecnologias</i>	30
2.3.3	<i>Integração funcional</i>	36
2.3.3.1	<i>M2M</i>	36
2.3.3.2	<i>Middleware</i>	39
2.4	Estruturação e especificação do sistema.....	41
2.4.1	<i>Duas estratégias de estruturação</i>	41
2.4.2	<i>Quadro de especificação</i>	44
2.5	Actual oferta no mercado.....	46
3	ARQUITECTURA DA SOLUÇÃO.....	47
3.1	Especificação Funcional do Sistema.....	47
3.1.1	<i>Sensores Inteligentes</i>	48
3.1.2	<i>Gateway do Sistema de monitorização</i>	49
3.1.3	<i>Módulo de comunicação GPRS</i>	53
3.1.4	<i>Computador – servidor. Unidade Central</i>	57
3.2	Mecanismos de comunicação da Rede	62
3.2.1	<i>GSM/GPRS</i>	63
3.2.2	<i>Comunicação Módulo TC65T – Servidor</i>	67
3.2.3	<i>Sockets</i>	72
3.3	Comunicação bi-direccional e primitivas de comunicação.....	74
3.3.1	<i>Mensagens da Rede de Sensores</i>	74
3.3.2	<i>Mensagens sobre a ligação Socket</i>	78
4	SOFTWARE DA SOLUÇÃO – ESTRUTURA E FERRAMENTAS DE APOIO	
4.1	Aplicação cliente – módulo TC65T.....	82

4.1.1	<i>Estrutura de classes</i>	82
4.1.2	<i>Descrição do funcionamento da aplicação</i>	83
4.2	Computador Servidor – unidade Central.....	86
4.2.1	<i>Aplicação Servidor</i>	86
4.2.1.1	<i>Estrutura da aplicação Servidor</i>	86
4.2.1.2	<i>Descrição do funcionamento da aplicação Servidor</i>	87
4.2.2	<i>Servidor Base de dados</i>	89
4.2.2.1	<i>Estrutura da base de Dados</i>	89
4.2.3	<i>Servidor Web</i>	94
4.2.4	<i>Sistema de três Servidores</i>	96
4.2.5	<i>Acesso à informação</i>	97
4.3	Descrição do modo de exploração do sistema.....	99
5	CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO.....	100
5.1	Orçamento para um sistema de monitorização.....	100
5.1.1	<i>Tarifários</i>	100
5.1.2	<i>Orçamento para um caso de aplicação</i>	101
5.2	Portabilidade.....	103
5.3	Consumo energético de um sistema.....	104
5.4	Descrição dos testes.....	109
6	CONCLUSÃO.....	113
	Referências.....	115
	Bibliografia.....	119

1 INTRODUÇÃO

A actividade de construção de edificações de grandes dimensões e galerias subterrâneas incluem a implementação de processos e técnicas de que resulta a produção de vibrações. O efeito destas vibrações nas próprias estruturas em construção, ou nas que se encontrem nas imediações, não é de modo nenhum desprezável [1], existindo, quer a nível nacional, quer em muitos outros países, legislação que introduz regulamentação na matéria.

A Norma Portuguesa NP 2074 (1983 [2]) rios processos associados à construção de estruturas, edificações ou galerias subterrâneas, como a cravação de estacas ou o desmonte por meio de explosivos, como sendo susceptíveis de provocar danos nas próprias construções ou galerias, e edificações próximas.

Torna-se assim evidente a utilidade da existência de sistemas de monitorização de vibrações que, no registo directo de eventos específicos à actividade de construção – explosões e/ou acravamento de estacas – permitam aferir, no local e em estruturas próximas, as consequentes vibrações descritas em termos de velocidade e de frequências. Estas grandezas são as referidas na NP 2074 e em legislação internacional como as apropriadas para a caracterização da vibração, independentemente do tipo de transdutor ou transdutores utilizados no sistema de monitorização.

Um sistema de monitorização de vibrações em estruturas edificadas ou em galerias subterrâneas – minas e túneis – tem a sua acção condicionada, por razões de operacionalidade e eficiência, desde logo em consequência dos dois cenários de exploração previstos.

Esses cenários são a monitorização de vibrações em estruturas e edificações que se encontrem:

a) nas proximidades de um foco de vibrações situado em galerias subterrâneas, como a construção ou expansão de linhas de metropolitano, ou extracção de minério, com recurso a explosões. Neste cenário, sugere-se igualmente interesse na

possível monitorização de vibração, como efeito das explosões em galerias já existentes, consolidadas ou não;

b) nas proximidades de um foco de vibrações situado em locais de construção à superfície (associado ao acravamento de estacas, utilização de martelos pneumáticos e outras máquinas).

Estes dois cenários implicam, necessariamente, a definição de modos de monitorização diferentes:

i) de natureza temporária – para o primeiro cenário, que prevê uma abordagem de análise de vibrações com carácter de fiscalização, com operação do sistema num período de tempo reduzido;

ii) de natureza permanente – para o segundo cenário, com instalação e operação permanentes, para monitorização de todos os eventos geradores de vibrações.

Conceptualmente, uma instalação permanente tem, à partida, custos acrescidos na instalação, com um aumento do número de horas de trabalho. Um sistema de monitorização permanente inclui um conjunto de sensores, que poderiam estar ligados entre si e a uma unidade concentradora, enquanto membros de uma rede cablada e em funcionamento ao longo de muitos meses, possivelmente anos – idealmente, durante toda a duração da actividade de laboração. A unidade concentradora pode disponibilizar, no local, ou remotamente através de um pc ou portátil, o acesso aos dados a responsáveis pela análise das vibrações.

Uma instalação temporária normalmente implicará a utilização de um sistema portátil, para permitir ao técnico responsável pelas medições a instalação rápida de um sistema de monitorização, a aquisição de dados e, possivelmente a análise dos dados, e a desinstalação rápida de todo o sistema.

A portabilidade, para um sistema de monitorização de dados, acarreta importantes condicionantes à sua realização física. Em particular, os sensores, assim como todos os outros componentes do sistema de monitorização, incluindo a unidade concentradora, têm que ser de tamanho e peso reduzido, para garantir a portabilidade e facilitar a instalação e desinstalação.

O modo de comunicação entre as unidades será então preferencialmente *wireless*, com operação na banda de frequências dos 433MHz ou dos 2,4 GHz, facilitando a instalação das componentes no cenário alvo, nomeadamente os sensores, permitindo a conexão rápida e simples entre todas as unidades (*plug and play*).

Os sensores incluirão um transdutor/acelerómetro triaxial de tecnologia MEMS para medição de vibrações. Na ausência de alimentação por cabo, isto é, no caso de sensores *Wireless*, necessitarão de uma bateria, o que implica que sejam de baixo consumo, de modo a garantir um ratio consumo/capacidade da bateria de acordo com os requisitos do serviço de medição de vibrações.

O sistema deve, ainda, permitir a análise dos dados e a configuração dos vários componentes, a partir da rede/*Web*, (por um especialista não presente no sítio de medição, que tenha a responsabilidade de análise e comparação dos dados provenientes de diferentes obras em paralelo, ou que esteja a acumular informação para controlo de qualidade, ou, noutra cenário, pelo próprio especialista no local, através de um computador portátil e acesso à Internet) através da unidade concentradora. Esta capacidade de intervenção e análise dos dados não deve ser minimizada pela localização do especialista, havendo assim possibilidade de realizar, efectivamente, uma tele-medida da vibração.

São estas as condicionantes e requisitos consequentes da definição de objectivos de operação do sistema de monitorização referido.

De modo resumido, o sistema deve providenciar uma medida, a concentração e o arquivamento da informação pretendida, e finalmente, a obtenção da informação à distância. Incluirá também a concepção e realização de uma rede de sensores sem fios, de colocação o mais simples possível e em múltiplos locais, com baixo peso e dimensão e baixo consumo, recorrendo para isso a sensores miniaturizados de tecnologia MEMS – *Microelectromechanical Systems* – e “inteligentes”, ou seja, que compreendam toda a cadeia de aquisição e tratamento de dados, com consequente libertação de capacidade de processamento na unidade concentradora, e capacidade de auto-instalação.

O desenvolvimento destes módulos “locais” e a sua integração numa rede de Sensores com os objectivos definidos corresponde a uma primeira finalidade um projecto global, que se enquadra, por si só, numa outra tese de Mestrado.

A unidade concentradora a desenvolver deverá servir igualmente de unidade *gateway* de comunicação, membro em simultâneo da rede de sensores e nó de acesso à Internet, dando suporte a *Web Services* que permitam a gestão remota do conjunto de sensores. Esta componente do Sistema – módulo – é constituída, assim, também por um servidor alojado num computador, de característica cliente-servidor, permitindo não só o acesso de *thin-clients* à informação gerada pela rede de sensores, mas conferindo-lhe, igualmente, um potencial de parametrização e reconfiguração do sistema através da Internet, constituindo-se, assim, como primeira interface entre utilizadores e as várias componentes do sistema.

O desenvolvimento deste grupo secundário de componentes do sistema corresponde assim ao objectivo deste trabalho permitindo aprender e explorar tecnologias relacionadas com a Internet.

O trabalho desenvolvido ao longo deste último ano, no âmbito deste projecto de mestrado, foi fundamentalmente “sediado” no Laboratório de Automação e Instrumentação Industrial (LAI) e em coordenação e cooperação com a empresa Eneida, através de contactos e ajudas preciosas dos seus colaboradores, bem como pela utilização de recursos.

2 ESTRUTURAÇÃO E FORMAS DE EXPLORAÇÃO

2.1 Contextos de exploração

O contexto de aplicação de um sistema de monitorização de vibrações envolve, neste projecto, duas áreas cujas especificidades implicam especificações de natureza diferente.

Como descrito no capítulo Introdução, falamos de monitorização de vibrações – à distância ou remotamente, na realidade uma “tele-medida” – que resultem de processos associados à construção de estruturas, edificações ou galerias subterrâneas, através de actividades como o acravamento de estacas, o desmonte por meio de explosivos ou uso de martelos pneumáticos, como descrito na norma portuguesa NP 2074. Estes processos estão identificados na norma como fontes susceptíveis de provocar danos nas próprias construções e galerias, assim como em edificações e estruturas erguidas nas proximidades dessas. As grandezas consideradas, nesta e noutras normas internacionais, para a caracterização da vibração são a velocidade e a frequência, independentemente do método utilizado para a determinação destas grandezas.

Pode identificar-se imediatamente, no contexto dos vários processos descritos pela norma portuguesa como causadores de vibrações, dois cenários de aplicação (de características de monitorização) diferentes.

Esses cenários são a monitorização de vibrações em estruturas e edificações que se encontrem,

- primeiro, nas proximidades de um foco de vibrações situado em galerias subterrâneas, seja em ambiente urbano (construção ou expansão de linhas de metropolitano), seja em locais de extracção de minérios – minas – com recurso a

explosões. Neste cenário, sugere-se igualmente interesse na possível monitorização da vibração causada por explosões, sobre galerias já existentes, consolidadas ou não;

- segundo, nas proximidades de um foco de vibrações situado em locais de construção à superfície (com acravamento de estacas, utilização de martelos pneumáticos e outras máquinas).

A primeira diferença entre estes cenários de aplicação consiste na introdução, no caso da monitorização de vibrações ao longo de galerias de minas, ou locais de extracção mineira, de condicionalismos relativos à perigosidade do ambiente. A existência de gases ou poeiras inflamáveis implica, de acordo com as directivas ATEX para equipamentos eléctricos (ATEX 95, directiva 94/9/EC [3]) que todos os equipamentos presentes nessas zonas obedeçam a um conjunto de requisitos de construção e funcionamento, de modo a tornar inviável qualquer possibilidade de explosão.

Utilização em galerias – segurança intrínseca

As directivas ATEX pretendem, por via da implementação na União Europeia de requisitos comuns de saúde e segurança (EHSR – *Essential Health and Safety Requirements*) para equipamentos destinados à operação em ambientes explosivos, providenciar uma base comum de requisitos para o livre mercado e movimento deste tipo de equipamentos, no espaço europeu. Os requisitos EHSR dizem respeito a:

- fontes de ignição potenciais nos equipamentos para operação em atmosferas potencialmente explosivos

- sistemas de protecção autónomos destinados à operação após a uma explosão, com o objectivo de a cessar, ou contrariar, completamente e no imediato, ou limitar os efeitos ou consequências das pressões e chamas resultantes.

- dispositivos de segurança que se destinam a contribuir para o funcionamento em segurança dos equipamentos referidos acima,

- componentes sem função autónoma, mas todavia essenciais para o funcionamento em segurança dos equipamentos referidos.

Segundo a directiva 94/9/EC, uma atmosfera explosiva está definida como uma mistura:

- i) de substâncias inflamáveis na forma de gases, vapores e poeiras,
- ii) que inclua ar,
- iii) em condições atmosféricas específicas, como gamas de temperatura ou pressão,
- iv) em que, após ignição, se verifique que a combustão se espalha para a mistura.

Importa referir que a norma IEC 60079 [4] consubstancia, em termos técnicos, as exigências expressas na directiva ATEX, incluindo as recomendações e indicações da técnica, se assim se pode designar, que é o IS (*intrinsic safety* – Segurança Intrínseca). Esta corresponde a uma abordagem de prevenção de explosões pela garantia de não transferência da energia requerida para iniciar uma explosão, para uma área considerada perigosa – potencialmente explosiva. Esta abordagem consiste na introdução de mecanismos – considerados intrinsecamente seguros – que eliminem a possibilidade de materialização de dois processos, identificados no seio da IS como iniciadores de explosões: as faíscas e as superfícies quentes.

Este tipo de atmosferas descritas podem verificar-se, potencialmente, em galerias de minas em operação, sendo nomeadamente referido, nas directivas ATEX, o exemplo das minas de carvão.

Um dos elementos fundamentais de um qualquer sistema de monitorização, que as directivas condicionam é a potência de alimentação. Num sistema sem fios, logo, obviamente, com sensores não alimentado por cabos, a alimentação é realizada por baterias, que são susceptíveis de constituir fontes de ignição em ambientes explosivos, embora estejam tabelados na norma IEC 60079 – os valores de tensões para baterias não

recarregáveis e recarregáveis, que considerados seguros para operação nos ambientes descritos.

Por outro lado, no contexto de monitorização das estruturas à superfície, nas proximidades das galerias subterrâneas, a natureza da actividade de extracção de minérios em galerias subterrâneas, seja na sua expansão ou outros processos, confere um carácter permanente à instalação de um sistema de monitorização. O mesmo acontece no exemplo de galerias subterrâneas para linhas de metropolitano, uma vez que a actividade de expansão faz-se a um ritmo consideravelmente lento (2 metros por dia, um metro por explosão, no máximo, 6 dias por semana). Significa isto que qualquer sistema de monitorização colocado à superfície, na área em redor das galerias, terá um carácter praticamente permanente (2 a 3 semanas, 15 a 20 metros).

A vantagem de instalação de um sistema de monitorização baseado em unidades portáteis, isto é, com bateria própria e sem necessidade de alimentação externa, incide, na facilidade e menor custo da instalação – custos de mão de obra e custos de tempo de instalação. Ora a obrigatoriedade de uma instalação permanente pode eclipsar as vantagens da portabilidade, favorecendo uma instalação de rede com alimentação e comunicação por fios.

Utilização em estruturas à superfície

O segundo cenário de implementação de um sistema de monitorização inclui a monitorização de estruturas e edificações, à superfície, que se encontrem nas proximidades do foco das vibrações, que pode ser, tipicamente em ambiente urbano, um local de construção de estruturas, prédios, edifícios, etc. Neste contexto de exploração, a medição de vibrações resultantes da actividade de construção, depende – como no cenário das minas – da solicitação em função dos eventos. No caso do trabalho de construção, embora possa compreender períodos de operação longos, um sistema de monitorização seria solicitado apenas temporariamente: a monitorização das vibrações não é efectuada para todas ocorrências, mas para uma amostra de ocorrências, para verificação estatística do cumprimento da legislação existente. Isto implica que a

instalação, activação, monitorização e desinstalação do sistema compreenderão um período de tempo não superior a algumas horas. Neste caso, compreende-se como mais adequado um sistema de elevada portabilidade, isto é, constituído por unidades *wireless*, munidas de unidade de alimentação própria (bateria), de instalação e desinstalação rápida, e, portanto, de menores custos.

2.2 Standards e legislação aplicável

A monitorização das vibrações em ambientes urbanos é destinada a avaliar dois impactos fundamentais: em pessoas e em estruturas e edifícios.

O trânsito e a ocupação de edifícios produzem vibrações noutros edifícios, semelhantes às que resultam da actividade de construção. Referências em estudos e legislação, nomeadamente local – exemplo da cidade de Toronto, Canada [5] – apontam uma designação preferencial das vibrações geradas pela actividade de construção como principal queixa de habitantes, muito embora seja notada a variedade de sensibilidades e reacções dos indivíduos relativamente a esta matéria.

No que diz respeito ao impacto das vibrações em edifícios e estruturas, as consequências são mais aferíveis. Aquilo a que comumente se designa por fissuração – *cosmetic cracking* – nas paredes de um edifício, é um exemplo dessas consequências, que são mais ou menos prováveis consoante a idade – e portanto, materiais e métodos de construção – dos edifícios.

Os standards internacionais relativamente a vibrações focam estes dois tipos de impacto. Há várias perspectivas estabelecidas no que diz respeito à quantificação da amplitude da vibração com maior ou menor adequação ao tipo de vibrações que estiverem em questão – sempre, no entanto, expressa na forma de uma velocidade – sendo os mais comuns sejam a determinação do valor de pico e do valor eficaz (RMS).

O primeiro, como o próprio nome indica, diz respeito à máxima amplitude de vibração monitorizada – isto é, a maior amplitude de pico a pico de um movimento

oscilatório - e é esta a variável que se apresenta como mais adequada à valorização quantitativa da gravidade amplitude da vibração.

O valor eficaz está associado a um intervalo de tempo durante o qual se processa a monitorização e, por conseguinte, descreve a gravidade das vibrações na forma de um valor médio, e é, como se verifica da análise da legislação internacional publicada sobre vibrações em estruturas, a representação da vibração mais usual.

Se se considerarem – ou se se reduzirem – os movimentos oscilatórios das vibrações como aproximações a vibrações sinusoidais, é possível, através da expressão

$$f = \frac{A}{2\pi V}$$

obter um valor da frequência da vibração, método que é, por vezes utilizado, para a determinação aproximada da frequência dominante da vibração.

Tendo em conta que não só os cenários de vibração em estruturas que foram referidos, mas também a monitorização de vibrações em máquinas para efeitos de manutenção preditiva, não correspondem definitivamente a cenários de vibrações puras sinusoidais – além de poderem caracterizar-se por fenómenos vibratórios com várias componentes de frequência – é normalmente necessário recorrer a análise em frequência da vibração. Esta análise, através do algoritmo FFT – *Fast Fourier Transform* – permite decompor o espectro global de vibração em componentes individuais, possibilitando a determinação de várias amplitudes para várias vibrações de várias frequências.

Limites de vibrações estabelecidos internacionalmente

Na legislação britânica BS 7385/ 1993 [6], no contexto de vibrações aceitáveis em edifícios, o limite até ao qual não se deverá verificar qualquer tipo de dano cosmético é 15 mm/s até 15 Hz, 20 mm/s para frequências na ordem dos 15 Hz a 40 Hz e 50 mm/s para frequências superiores a 40 Hz. Para edifícios mais velhos ou

monumentos, estes limites são revistos em baixa, respectivamente, para 50 % e valores ainda menores.

O standard alemão DIN4150 [7] estipula, para edifícios de grande valor intrínseco ou de especial sensibilidade a vibrações, um limite de 3 mm/s para frequências inferiores 50 Hz. Este valor sobe para 8 mm/s para a gama de frequências compreendida entre 50 Hz e 100 Hz e 10mm/s para 100Hz ou mais.

Na Irlanda, recomendações técnicas da *National Road Authority* (NRA) [8] apontam 8 mm/s para valores de frequência inferiores a 10 Hz, 12,5 mm/s para 10 a 50 Hz e 20 mm/s para valores superiores a 50Hz, no caso da construção de estradas. E, ainda na Irlanda, a EPA IPPC (*Environmental Protection Agency – Integrated Pollution Prevention Control*), que licencia, por exemplo, a operação mineira, estipula 8-12 mm/s durante o dia e 4 mm/s à noite [9].

A norma portuguesa NP 2074 estipula que os equipamentos de monitorização de vibrações devem poder registar valores de frequência de 3 a 60 Hz, e condiciona o cálculo da velocidade a vários factores, como o tipo de solo, o tipo de edifício e o número de solicitações. Ainda assim, a gama de velocidades a registar vai dos 1,75 mm/s a várias dezenas de mm/s.

2.3 Requisitos de um sistema de monitorização de vibrações

2.3.1 Sensorização – critérios e tecnologias

Da análise dos limites referenciados nas normas de vários países, incluindo a norma portuguesa, compreende-se como suficiente uma sensibilidade máxima de 1 mm/s, para um sistema de sistema de monitorização, mais concretamente para as unidades sensores.

A monitorização de variáveis físicas (velocidade, o deslocamento ou a aceleração) realiza-se através de transdutores, isto é, dispositivos que são capazes de converter essas variáveis noutras, de melhor formato, diga-se assim, para análise e monitorização.

Os sensores de vibração – os transdutores - dividem-se em função do princípio de funcionamento, mas também em função da grandeza que medem, digamos assim, directamente. Dito isto, há 3 tipos de sensores de vibração:

- Sensores de deslocamento
- Sensores de velocidade
- Sensores de aceleração (acelerómetros)

Os sensores de deslocamento são usados para frequências muito baixas, e normalmente têm uma gama de operação relativamente pequena, (0 a 100Hz). Existem vários tipos de sensores de deslocamento, com vários princípios de funcionamento, dos quais os mais relevantes são os capacitivos e os ópticos, com base em triangulação por feixes laser.

Os sensores de velocidade têm gamas de operação mais alargadas em frequência (0 a 1000Hz) e a maior parte das unidades comercializadas sendo usadas na monitorização de equipamentos rotativos.

Os acelerómetros são, definitivamente, os sensores mais usados, com maior versatilidade em termos de gama de frequências operadas (entre 0 e 20000Hz), e também com a maior variedade de tipos para aplicações específicas: consequentemente, é este o tipo de sensor utilizado neste projecto.

Das diversas tecnologias de acelerómetros, interessam-nos fundamentalmente os acelerómetros da tecnologia MEMS. A tecnologia MEMS permite, através da exploração das características do silício, utilizá-lo como substrato comum para a integração de dispositivos mecânicos, sensores, actuadores e electrónica através de técnicas de micro-fabricação semelhantes às utilizadas para construir circuitos integrados.

Princípio de funcionamento de um acelerómetro MEMS

Um acelerómetro MEMS é constituído por uma massa de prova – uma massa inercial – ligada por estruturas móveis a pontos fixos. Na ausência de forças aplicadas sobre a massa, esta e os pontos fixos constituem um sistema em equilíbrio. Se uma força for aplicada, e se a massa se deslocar, as estruturas móveis acompanham esse movimento, contribuindo para o reequilíbrio pós-acção das forças. No caso dos acelerómetros MEMS de capacidade variável, a massa de prova contém pequenos braços, extensões perpendiculares aos planos laterais da massa (figura 1). Essas extensões estão compreendidas, no equilíbrio, entre placas paralelas às primeiras, que se comportam como condensadores, situadas à mesma distância de cada extensão.

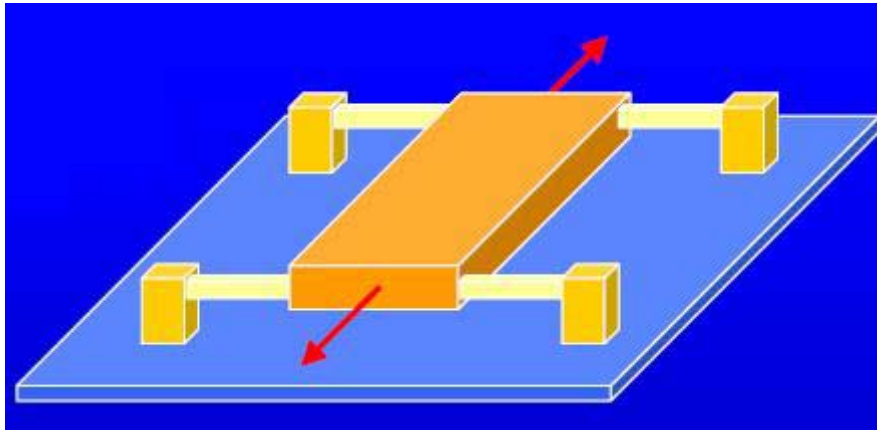


Figura 1 – representação de um acelerómetro, com a massa de prova, as ligações móveis e os suportes fixos.[10]

Com o movimento da massa de prova, as distâncias entre as extensões e os condensadores vão alterar-se, alterando a capacidade dos condensadores (que se mantinha constante no equilíbrio). A aceleração pode ser assim determinada a partir da variação da capacidade dos condensadores. Neste caso, claro, o movimento é medido em função de uma só direcção, sendo posteriormente transformado num sinal analógico ou digital.



Figura 2 – representação das extensões da massa de prova, entre condensadores. [10]

Os acelerómetros tri-axiais são constituídos basicamente por várias sub-sistemas de uma só massa de prova, integrando a aceleração sentida sobre cada eixo.

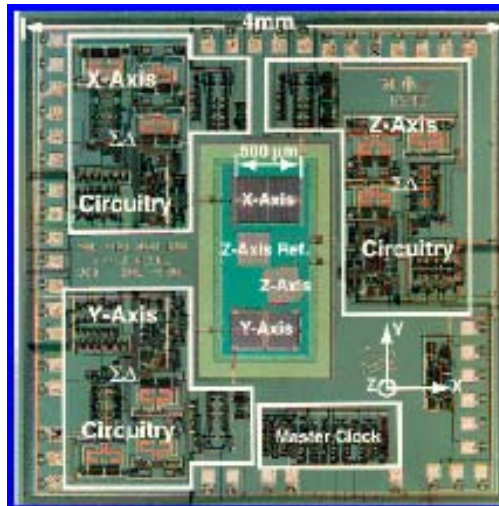


Figura 3 – acelerómetro MEMS triaxial [10]

2.3.2 Requisitos da rede de sensores e tecnologias de suporte

2.3.2.1 Integração de sensores inteligentes

A constituição e dimensão de um sistema de monitorização não apresentam diferenciação substancial em ambos os cenários anteriormente referidos, independentemente da forma de comunicação implementada. Os sistemas comercializados para monitorizar vibrações à superfície, que resultem de explosões para expansão de galerias subterrâneas destinadas a metropolitanos, usam tipicamente – como no caso do metro de Lisboa – unidades não ligadas em rede, num número compreendido entre 3 e 10 sensores, num raio até 200 metros da explosão.

A análise de vibrações em estruturas e edifícios, costuma compreender sistemas com um número de sensores relativamente reduzido (um por andar, em edifícios com poucos andares, 4 a 5 andares em edifícios de grandes dimensões, espalhados pelo edifício, procurando cobrir o seu volume de modo equilibrado). Os sensores são colocados em pontos considerados críticos, do ponto de vista da estabilidade do edifício, sendo que a sua colocação é realizada por especialistas de estruturas e técnicos de vibrações.

Como referido anteriormente, um sistema global que compreenda soluções para os dois cenários apresentadas – uma rede de instalação permanente e uma rede de instalação temporária – deve incluir:

- uma solução com tecnologia sem fios, que integre 3 a 10 sensores *wireless* na forma de uma rede LAN.

- uma solução com tecnologia “cablada”, que integre igualmente 3 a 10 sensores numa rede LAN.

Sensores Inteligentes e redes de Sensores

A lógica distribuída implementada em sistemas de gestão, supervisão e controlo industrial, embora ainda hoje não completamente absorvida pelas indústrias, não ficou, em termos de desenvolvimento, confinada aos DCS. A introdução e avanço combinado de tecnologias nas áreas de computação (incluindo *hardware*, *software* e algoritmos), “sensing” – isto é, monitorização de variáveis – e comunicações, permitiu a idealização, desenvolvimento e realização de *sensor networks* (SN), redes de sensores. As redes de sensores modernas são, antes de mais, redes que usam múltiplos sensores distribuídos que geram informação sobre variáveis de processo e eventos considerados importantes. Os sensores destas aplicações podem estar ligados através de redes cabladas e/ou sem fios – *wireless* – sendo, na actualidade, esta a solução com maior potencial de crescimento.

SN – *Sensor Networks*

Num crescente número de casos, com o desenvolvimento de tecnologia MEMS – *micro-electromechanical systems* – os modernos sensores inteligentes podem hoje ser de pequena dimensão e de baixo custo. Por outro lado, o desenvolvimento em redes sem fios e com processadores de baixo custo e baixo consumo permite hoje, integrando a tecnologia MEMS, a introdução de redes de sensores verdadeiramente distribuídas,

cujas unidades – “nós” – possuem a capacidade para comunicar entre si e cooperar para monitorizar ou actuar sobre o ambiente ou contexto. A descentralização de processamento de controlo e supervisão atinge, nas redes de sensores modernas, as periferias da rede, isto é, são agora os próprios sensores – ou as unidades que os integram – que procedem à digitalização do sinais analógicos e são eles próprios capazes de tomar decisões e gerir equipamentos e processos.

Uma rede de sensores, numa perspectiva genérica, é tipicamente constituída por um conjunto de unidades (nós), constituindo sensores ou actuadores, inter-comunicantes, ligadas a uma unidade ou unidades do tipo *gateway*. Estas unidades compreendem a função de integração da rede de sensores em redes globais ou simplesmente agem como tradutores entre protocolos de comunicação diferentes, correspondentes a redes diferentes.

A posição das unidades não necessita de ser pré-determinada, o que é garantido por protocolos de comunicação e algoritmos de rede com capacidade de auto-organização. As unidades – nós da rede – além de possuírem capacidade de cooperação entre si, são capazes de processamento da informação gerada a partir da grandeza analógica, isto é, digitalização do sinal analógico e outros cálculos necessários, emitindo também apenas informação total ou parcialmente processada, libertando capacidade de processamento a unidades Gateway/concentradoras.

Microcontroladores e transceptores

Os sensores inteligentes são o corolário do desenvolvimento de várias tecnologias, nomeadamente na área da miniaturização e métodos de produção em microelectrónica. O dispositivo base do funcionamento de um sensor inteligente é o microcontrolador. Este dispositivo pode ser descrito como um micro-computador na forma de um circuito integrado único, constituído por várias sub-unidades. Inclui um micro-processador (CPU), entradas e saídas, analógicas e digitais, memória não volátil (FLASH, ROM, EPROM, EEPROM), memória volátil (RAM) e um oscilador de cristal para sincronização de circuito (*clock*), e interfaces-série (SPI – *Serial Peripheral*

Interface –, UART – *universal asynchronous receiver/transmitter*, I2C – *Inter-Integrated Circuit*) que lhe conferem a capacidade de comunicar com, e, através destas, gerir outras componentes como módulos de comunicação diversos.

Os microprocessadores dos microcontroladores existentes em sensores inteligentes, têm, tipicamente, velocidades de *clock* de alguns MHz (no caso, a título de exemplo, da série MSP430 [11] da Texas Instruments, até 16 MHz) e entre 8 a 32 Bits (no último caso, por exemplo, XScale PXA271 [12] da Intel, sendo que ambos os microcontroladores têm arquitectura RISC, a arquitectura dominante nos dias de hoje, em sistemas embebidos).

Os microcontroladores têm tipicamente consumos muito baixos (alimentação na gama de 1,8V a 3,6V, e 250 μ A/MIPS (*Millions of instructions per second*) no estado de funcionamento activo (no caso, novamente, do MSP430 [11]) característica que é fundamental para a operação dos sensores inteligentes e instrumentação embebida, em geral, uma vez que facilita a sua portabilidade.

Outra sub-unidade fundamental dos sensores inteligentes é aquela, ou aquelas, que lhe conferem a capacidade de comunicação com outras unidades – isto é, que permitem integrar a função de receptor e transmissor – numa rede, nomeadamente uma unidade *gateway*, estando também presentes nesta. Este dispositivo é designado por transceptor. Existem transceptores para inúmeros modos de comunicação, isto é, para diversos protocolos, como CAN bus, por exemplo, como é o caso do transceptor que integra o sensor EWS TA3Tc [13]. As duas componentes – o controlador de comunicação e o transceptor – compõem uma unidade de comunicação, neste caso, CAN. Este sensor de vibrações EWS TA3Tc é, de facto, um sensor de vibrações – incorpora um acelerómetro MEMS – e parte integrante de uma rede CAN. As características dos transceptores estão fortemente associadas às características dos protocolos de comunicação a que estão associados, nomeadamente em termos de largura de banda e alcance, obedecendo também aos condicionamentos e necessidades energéticas que são específicas quer das comunicações quer das redes perspectivadas (numa rede *Wireless*, por exemplo, em ambientes de contenção energética ou em que rarearão as fontes de alimentação, poderá ser imposta o uso de baterias por unidade, o que levará à escolha de transceptores com consumos adequados a essas restrições).

Gateways

As *gateways* são dispositivos dedicados que têm como função permitir a interoperabilidade entre redes ou sistemas de natureza diferente. De modo sintético, uma *gateway* pura procede à tradução e reformatação sintáctica e/ou semântica de uma mensagem que provém de um sistema ou rede, por meio de um protocolo de comunicação que é característico dessa rede, com o objectivo de retransmissão dessa mensagem para outra rede caracterizada por um protocolo diferente, mantendo as mesmas características em termos de destino, conteúdo e significação. As *gateways*, importa referir, têm funções diferentes de outro tipo de dispositivos, os *routers*.

Como um dispositivo *gateway*, um *router* liga dois sistemas ou redes de comunicação. Ambos filtram e gerem o tráfego de mensagens entre os dois sistemas, permitindo que uma mensagem com origem numa unidade de uma das redes transite apenas para a outra rede, se a unidade destino aí estiver. Contudo, os *routers* desempenharão este papel entre sistemas que, embora diferentes, ou com funções e características diferentes, utilizem o mesmo protocolo de comunicação.

No contexto de redes de sensores – SN – as unidades *gateway* são dispositivos ou unidades semelhantes aos sensores inteligentes, no sentido de se constituírem como um sistema embebido, com microcontrolador, unidades de alimentação e unidades de comunicação.

Um exemplo de *gateway* é a unidade EWS G433M [14]. Esta unidade funciona também com base num microcontrolador da família MSP430, o MSP430F2410, e inclui duas unidades de comunicação: uma unidade CAN e uma segunda unidade de rádio frequência, constituída pelo transceptor RXQ2-433 da Telecontrolli [15], que funciona como interface para redes sem fios, na banda de frequência dos 433 MHz. É, portanto, uma *gateway* CAN-433 MHz.

Outro exemplo de uma *gateway* é a unidade Artic GPRS *gateway* [16], da Viola Systems, que inclui um módulo GPRS, permitindo interligação entre uma rede Ethernet

de dispositivos remotos, (ou conectados à *gateway* através de ligações de série RS-232) e, via GPRS, a Internet.

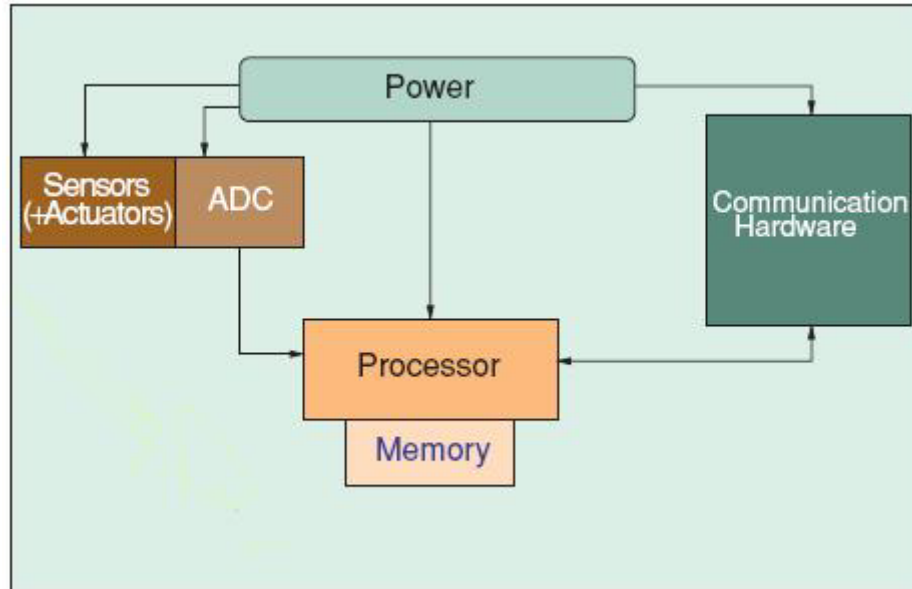


Figura 4 – um sensor inteligente genérico

2.3.2.2 Redes de sensores e comunicações

Designações

Importa, de modo muito sucinto, enunciar e explicar alguns conceitos nos quais se estruturam as redes de comunicação, assim como enunciar e explicar sucintamente algumas tecnologias associadas, como os protocolos de comunicação comumente utilizados.

As redes, primeiramente, definem-se em função da área por si abrangida. Designam-se por WAN – *wide area network* – as redes que abrangem uma área de grandes dimensões, como são as cidades ou mesmo grandes regiões e países. Este tipo de redes recorre frequentemente a tecnologias de comunicação baseadas em satélites. As

redes para comunicações móveis, para telemóveis (GSM – *global system for mobile communications* – e o serviço de dados GPRS) são um exemplo de redes WAN. Este tipo de redes estão normalmente associadas a outras mais pequenas, integrando-as, promovendo a comunicação e interligação entre as mesmas.

Redes que cobrem, por exemplo, edifícios, podem considerar-se LANs – *local area networks* – e é nesse tipo de redes onde podemos encontrar comunicação entre dispositivos baseada em tecnologias como *Zigbee* (sem fios) ou CAN (cablado). Em contexto de áreas muito pequenas – alguns metros, uma divisão – podemos encontrar redes de alcance e cobertura muito reduzida – embora com taxas de transmissão de informação elevada. Essas redes designam-se PAN – *Personal Area Networks* – de que as redes baseadas em tecnologia *Bluetooth* são um bom exemplo.

Topologias

De um modo genérico, isto é, sem ter em conta a especificidade de cada tecnologia de comunicação utilizada, limitamo-nos a enunciar as diversas topologias que caracterizam as redes.

Ponto-a-ponto. Uma unidade liga-se a outra através de um canal dedicado, com comunicação exclusiva às duas.

Bus. Várias unidades são ligadas a um *bus* (linha) comum. Todos os dispositivos recebem as mensagens transmitidas respondendo, contudo, apenas os que são destinatários dessas.

Árvore. Este tipo de topologia aproxima-se da lógica do ponto-a-ponto encadeado, uma vez que em cada nó participa no processo de encaminhamento (*routing*) das mensagens até aos destinatários respectivos.

Estrela. A topologia Estrela integra a lógica das ligações ponto-a-ponto, existindo neste tipo de redes, tipicamente, um nodo central para o qual todos os dispositivos enviam mensagens, que são de seguida reencaminhadas para os respectivos destinos.

Anel. Neste tipo de redes, cada dispositivo comunica com dois dispositivos vizinhos bem determinados, exclusivamente recebendo mensagens dum deles e transmitindo para o outro. Todas as mensagens que influem num dado dispositivo, se não lhe forem destinadas, têm que ser retransmitidas para o vizinho receptor.

Mesh. Numa rede emalhada, as mensagens podem percorrer caminhos diferentes, entre um receptor e um emissor, o que permite configurações muito variadas de encaminhamentos.

Tendencialmente, as redes não são exclusivamente desta ou daquela topologia, sendo mais comumente uma combinação de topologias.

Protocolos de comunicação

Um protocolo de comunicação especifica um conjunto de regras para um dado tipo ou meio de comunicação. Esta definição inclui a comunicação entre dispositivos dissimilares através da mesma camada de abstracção e comunicação entre camadas de um mesmo dispositivo.

As regras, funções e organização das camadas de abstracção estão estandardizadas no modelo OSI – *Open System Interconnection* – criado pelo ISO (*International Standards Organization* – ISO 7498 [17] para providenciar uma base comum para a descrição de redes de computadores. Neste modelo, as arquiteturas das redes são estruturadas em 7 camadas (*OSI Layers*), que correspondem aos serviços fundamentais potencialmente suportáveis por qualquer rede, para tal programados em todos os seus nós.

Formas de comunicação importantes em Redes de sensores

Apresentam-se exemplos de mecanismos de comunicação, cablados e sem fios, que, sendo usuais nas redes de sensores genéricas, são, também, aquelas que mais se adequam às redes de sensores para monitorização de vibrações.

CAN

CAN [18] (*controller Area Network*) é uma arquitectura de rede cablada “bus”, originalmente desenvolvido nos anos 80 para uso na indústria automóvel, pela empresa alemã *Bosch*. Permite a integração e alimentação energética de dispositivos comuns na indústria (sensores e actuadores) em redes, reduzindo a necessidade (e consequentemente os custos) de longas ligações analógicas 4-20 mA. Está estandardizado na norma ISO 11898-1 [19].

A relação taxa de transferência/alcance do CAN – que pode ser analisada na tabela 1 – permite situações de exploração (e de quadros de requisitos) tão diversificadas como a interligação entre sistemas em fábricas (alcances de transmissão até centenas de metros), em aviões e comboios (dezenas de metros) e, por exemplo, em equipamentos médicos (poucos metros).

Alcance (m)	25	50	100	250	500	1000	2500	5000
Taxa de transferência	1 Mbit/s	800 kBit/s	500 kBit/s	250 kBit/s	125 kBit/s	50 kBit/s	20 kBit/s	10 kBit/s

Tabela 1: Taxa de transferência máxima (Bit Rate) vs alcance de transmissão (Bus Length) para CAN.[20]

Tem dois serviços de comunicação disponíveis: o envio de mensagem (*data frame transmission*) e o pedido de envio de uma mensagem (*remote transmission*).

Serviços como a sinalização de erro e a retransmissão automática de “frames” com erros detectados são automaticamente desencadeados pelo protocolo CAN. Esta característica providencia a consistência da informação na rede, que justifica – juntamente com a versatilidade da relação taxa de transferência/alcance – a sua disseminação no meio industrial e, mesmo, em sistemas de electromedicina. Dada a sua simplicidade e consequente robustez, o CAN está referenciado para operação em condições de perigosidade de certos ambientes industriais. A organização CAN CIA (*CAN in automation*), fundada em 1992, publicou uma especificação (CIA103 [21]) que descreve uma aplicação de camada física capaz de corresponder às exigências do IS (intrinsecamente seguro).

433MHz

Uma banda ISM [22] (*industrial, scientific and medical*) corresponde a uma parte do espectro de rádio que pode ser usado livremente, sem licença, em muitos países. A CEPT (*Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications*) – uma comissão de coordenação das organizações estatais europeias de comunicações e serviços de correio – estipula, por meio da norma ETSI 300 220 [23], que dispositivos com ERP (*effective radiative power*) – potência radiada – até 10mW (10 dBm) podem operar na banda de frequências 433 MHz (433,05 – 434,79 MHz). Os construtores têm a liberdade de construção de protocolo, com os métodos de modulação que entenderem desenvolver.

As redes baseadas na banda 433MHz têm a vantagem que advém de uso de uma frequência mais baixa, com possibilidade de maior alcance e “ultrapassagem” de obstáculos, portanto sem requisito estrito de “linha de vista”, como acontece com as microondas. A *gateway* CAN-433MHz EWS – G433M da Eneida, possui uma unidade de comunicação RF de ERP nos 10 dBm, com alcance até 300 metros em campo aberto, e taxas de transmissão 100 Kbit/s.

Zigbee

Zigbee designa uma tecnologia de comunicações para redes sem fios, que procura integrar dispositivos de baixo custo e potência dispostos numa rede *wireless*, adequada a nós alimentados a bateria. Está construído sobre as camadas física e MAC definidas pelo *standard* IEEE 802.15.4 [24], definindo as camadas de rede acima das referidas, que neste caso são a camada de rede e a de aplicação.

Esta topologia permite a implementação de redes em topologia emalhada, estrela e árvore até distâncias de 75 metros, com taxas de transferência de dados até 250 kbit/s, apesar e estar referenciada como uma PAN. Está precisamente pensada para aplicações de controlo e monitorização de baixo custo e com restrições de potência. Os dispositivos munidos de módulos de comunicação *Zigbee* operam nas bandas ISM de 2,4 GHz (em todo o mundo) e de 915 MHz nos EUA. Uma das suas vantagens é o elevado a possibilidade de incluir um elevado número de nós interligados, o que permite uma expansão facilitada da rede.

2.3.2.3 Acesso remoto e acesso à internet – conceitos e tecnologias

Internet

Comum a ambos os cenários de exploração referidos – temporário e permanente – é o facto de se pretender proceder ao acesso remoto da informação adquirida, através da Internet.

A introdução da *World Wide Web* (WWW) no início dos anos 90 [25] – no fundo, uma aplicação que permite criar e manter documentos, informação e recursos interligados por hiperligações e URLs (*uniform resource Locator*) – sobre a Internet,

permitiu a expansão desta, em termos de informação disponibilizada e aplicabilidade. Se a *Web* constituía, na sua génese apenas um mecanismo de acesso remoto a um repositório de textos e imagens, a sua evolução óbvia converge para a disponibilização de serviços, seja de disponibilização de informação acessível – *information providing services* – ou os que se podem categorizar de *world-altering services*. Nesta última categoria inserem-se os serviços que incluem ou permitem a interacção sobre a Internet entre dispositivos de relação com o “mundo real”, como sensores ou actuadores. Estes dispositivos tornam-se, eles próprios, parte integrante da Internet – *Internet based devices* – através de aplicações de *software* que, na mesma linha do *middleware*, permitem criar uma camada de integração semântica. É, assim, possível a ligação e interacção entre aplicações sobre a Internet, dispersas por vários *internet based devices*, permitindo a execução automática de instruções e troca de informações sem necessidade de inserção manual via um *Web Browser*. Esses *softwares* designam-se por *Web Services*.

Web services

Os *Web services* permitem a integração de aplicações num ambiente *Web*. Esta afirmação constitui uma descrição muito sintética das suas funcionalidades. Por razões de facilidade, os *Web services* são aplicações tipicamente baseadas em XML – *Extensible Markup Language* –, que configura uma linguagem estandardizada para representação e troca de informação estruturada na Internet e na *Web*. Esta linguagem de comunicação permite definir e descrever as interfaces públicas e ligações do *Web service* e entre *Web services*, sendo que estes são identificados por URI – *Uniform resource identifier*.

Assim, *Web services* são entidades inter-comunicantes e inter-actantes de acordo com *standards* próprios, como o UDDI – *Universal, Description, Discovery and Integration* – que permite o registo e a disponibilidade dos *Web services* aos consumidores ou utilizadores. A WSDL (*Web Services Description language*), outro standard para *Web services*, permite a descrição da sua interface e funcionalidade. Regista-se também, como standard importante, o SOAP – *simple object Access Protocol*

– que define um protocolo de comunicação base de troca de mensagens XML entre utilizadores e aplicações.

O funcionamento de um *Web service* pode ser descrito da seguinte maneira: através de um documento XML criado na forma de mensagem, um programa envia um pedido a um *Web service* sobre a rede, e, opcionalmente, recebe uma resposta, também na forma de uma mensagem do tipo XML. O formato da mensagem é definido pelos standards referidos, que, igualmente, definem a interface para que é enviada a mensagem, ou a organização da informação da mensagem de acordo com os requisitos das aplicações de origem e de destino, e também os mecanismos que permitem a publicação e identificação de interfaces dos *Web services*.

Os *Web services*, além de permitirem a ligação entre aplicações diferentes sobre a internet, introduzem também soluções para a integração de aplicações empresariais, constituindo-se como uma espécie de “cola” entre softwares diversos de uma organização, dentro e fora da “firewall”, isto é, da barreira de segurança entre as redes internas empresariais e as aplicações sobre a internet.

A figura 5 ilustra como os *Web services* desempenham um papel de ligação entre o mundo interno das aplicações ou softwares de gestão, ou *middleware*, de uma empresa ou fábrica, com o ambiente de rede e ou a internet. No exemplo, os *Web services* representam uma camada de interface através da qual a rede – aplicações genéricas sobre a Internet ou aplicações remotas de gestão ou telemetria – pode comunicar com sistemas de gestão de dados, sistemas CORBA, objectos vários, etc. A interface de *Web Services* recebe uma mensagem XML normal proveniente da rede, transformando o seu formato de modo a torná-la compreensível para o sistema interno (*back-end system*).

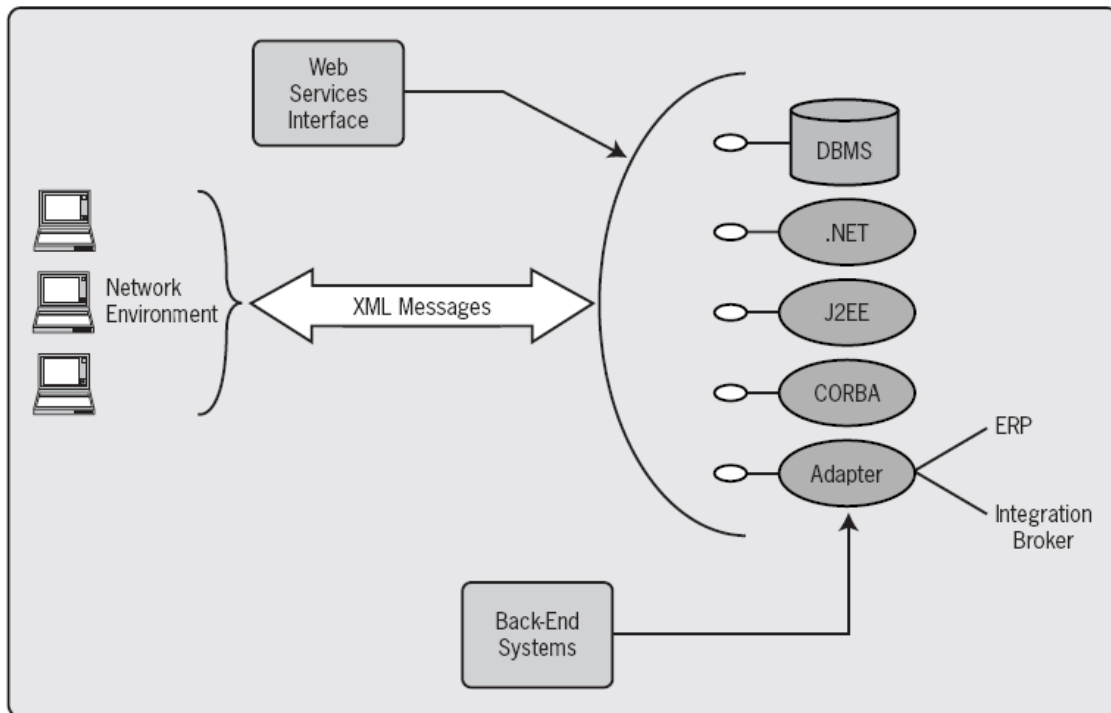


Figura 5 - representação de uma interface de Web services, entre uma rede externa e uma rede interna[25]

Os *Web services* combinam as características de execução de aplicações programáticas com as características de abstracção da Internet. As tecnologias de Internet permitem hoje um nível de abstracção suficiente para a integração e compatibilização entre todos os sistemas operativos, hardware e software: é a infraestrutura da Internet baseada em *Web-services* que explora este nível de abstracção e providencia tradução semântica da informação para qualquer aplicação ou dispositivo, como em particular aqueles que integram uma rede de sensores de vibrações.

A rede de sensores de vibrações, permanente ou temporária, deve assim permitir o acesso remoto à informação adquirida na forma de valores de velocidade de vibração, através de um PC, sobre a Internet, com base numa aplicação de software que não só proceda à análise estatística e representação (gráficos) dos dados de vibração dos eventos monitorizados, como permita atender às especificidades da elaboração dos relatórios de qualidade ou fiscalização pretendidos.

Assim, a rede – e portanto o sistema – deve integrar uma unidade *gateway* que se constitua como servidor *Web*, permitindo a ligação e transmissão dos dados sobre a Internet, para um cliente.

Tecnologias de comunicação para Acesso à Internet

As soluções de acesso à Internet disponíveis para um sistema desta natureza, são baseadas em tecnologia *Wi-Fi* (IEEE 802.11 [26]) ou em recorrer às redes públicas GSM/GPRS.

Wi-Fi

A designação *Wi-Fi* associa-se normalmente às tecnologias de comunicação para redes do tipo LAN, sem fios, cujas especificações estão definidas na norma IEEE 802.11, originalmente de 1997. Esta norma inclui um conjunto de *standards* desenvolvidos no comité IEEE para redes sem fios LAN/MAN. Designa-se por *Wi-Fi* qualquer uma dos *standards* 802.11a, 802.11b, 802.11g e a mais recente 802.11.n. Estas tecnologias descrevem capacidades, especificações e características diferentes, para redes sem fios. O *standard* 802.11a, por exemplo, refere o uso da banda de frequências 5 MHz para taxas de transferência máximas teóricas de 52 Mbit/s, mas com um alcance limitado devido a maior absorção do sinal pelos obstáculos como paredes (frequência mais elevada). O *standard* mais popular, hoje ainda, é 802.11b, que opera na banda 2,4 MHz, com velocidades mais baixas (11Mbit/s), mas com maior alcance (dezenas de metros, dependendo da taxa de transferência – 30 metros para 11Mbit/s, chegando possivelmente a 100 metros, para taxas de 1Mbit/s). Uma desvantagem deste meio de comunicação inclui a utilização de uma banda de frequências já utilizada por outros dispositivos, como dispositivos *bluetooth*, o que resulta em interferências que podem reduzir o alcance e a taxa de transferência. Por outro lado, embora verificando-se uma introdução acelerada desta tecnologia, há ainda – tendo em conta os alcances especificados – um problema de disponibilidade de rede para aplicações com algum

grau de mobilidade geográfica, ou de instalação temporária. As tecnologias 802.11g e 802.11n, com graus de introdução no mercado mais reduzidos que o 802.11b, providenciam maior capacidade de taxa de transferência, mantendo os mesmos problemas de interferência. A utilização de antenas direccionais de alto ganho permite ligações ponto a ponto a distâncias consideravelmente maiores, usando estas tecnologias (5 a 10 km).

GSM/GPRS

GSM (*Global System for Mobile communications* [27]) corresponde ao *standard* europeu para comunicações móveis ou celulares, sem fios, desenvolvido inicialmente pelo *Groupe Spécial Mobile* com o propósito de desenhar um sistema pan-europeu de comunicações móveis, e cujas especificações foram publicadas pelo ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*) em 1990 [28]. A sua implementação é hoje global – é uma WAN – estando implementada e com cobertura em mais de uma centena de países em várias bandas de frequência (por exemplo, 1,8 MHz na Europa, 1,9 MHz nos EUA). O serviço mais significativo que providencia é a telefonia de voz, com comutação de circuitos. Uma rede baseada em comutação de circuitos caracteriza-se pelo estabelecimento de ligações – canais – directas e dedicadas entre um emissor e receptor, que está permanentemente funcional (*online*) durante a ligação (ou a chamada). Os serviços de transferência de informação em redes GSM estão limitados por uma taxa máxima de transferência de 14,4 kbit/s. Melhoramentos foram introduzidos no *standard*, nomeadamente o HSCSD (*High-speed Circuit-switched Data*), permitindo taxas maiores, mantendo o princípio de comutação de circuitos. A introdução do GPRS [28] (*General Packet Radio Services*) no *standard* GSM permitiu, com base na comutação por pacotes (*packet switched data*), alcançar taxas de transferência de informação mais elevadas (até aos 170 kbit/s). A comutação por pacotes é introduzida através do aproveitamento de banda não utilizada pelo serviço de telefonia de voz, estando também por isso dependente do tráfego deste serviço. O sistema de comutação por pacotes permite cobrar somente o que se envia, uma vez que os canais para comunicação são providenciados aos utilizadores apenas quando pacotes

estão para ser enviados ou recebidos. O GPRS suporta aplicações baseadas em protocolo IP e outros protocolos orientados para a ligação à Internet.

2.3.3 Integração funcional

Em aplicações industriais, a actual tendência dos sistemas embebidos distribuídos cuja integração é baseada em redes IP com e sem fios, assim como em tecnologias de comunicação para telemóveis GSM/GPRS e, em muito menor grau, actualmente, de 3ª, 3,5ª e em breve 4ª geração, conduziu à capacidade integrada de elaboração de formas de interligação M2M.

2.3.3.1 M2M

O conceito M2M assenta na ideia de que o valor ou potencial de um dispositivo, quando integrado numa rede, é muito maior se comparado com a sua função individual e isolada; também vaticina que as redes incrementam o seu valor e potencial com o aumento do número de unidades a elas associadas. O conceito estende-se, assim, dos campos tradicionais dos processos industriais e/ou laboratoriais, envolvendo sistemas de informação e gestão muito complexos e dispendiosos para áreas de comercialização mais vastas e multifacetadas, independentemente da sua escala.

Um exemplo fácil de integrar nesta lógica é, precisamente, o alvo deste projecto – um sistema de monitorização de vibrações, constituído por unidades “sensoriais”, dispositivos do tipo *gateway/router* como membros dessa rede, módulos que permitam a comunicação à distância entre a rede dos sensores e um utilizador por via de interfaces gráficas situadas em computadores – servidores do tipo cliente-servidor – conferindo uma capacidade de telemedida e actuação à distância. A conjugação destas componentes dá corpo a este conceito de unidades integradas num sistema global – uma rede de unidades distribuídas.

Este tipo de sistemas é economicamente viável porque a Microelectrónica permitiu baixar substancialmente os custos associados ao seu grau de modularidade. Para tal contribuiu, também, a generalização de redes estandardizadas. De resto, a natureza das soluções e capacidades que os sistemas M2M incluem e superam as obtidas pelos DCS, PLC, ou pela implementação de sistemas SCADA.

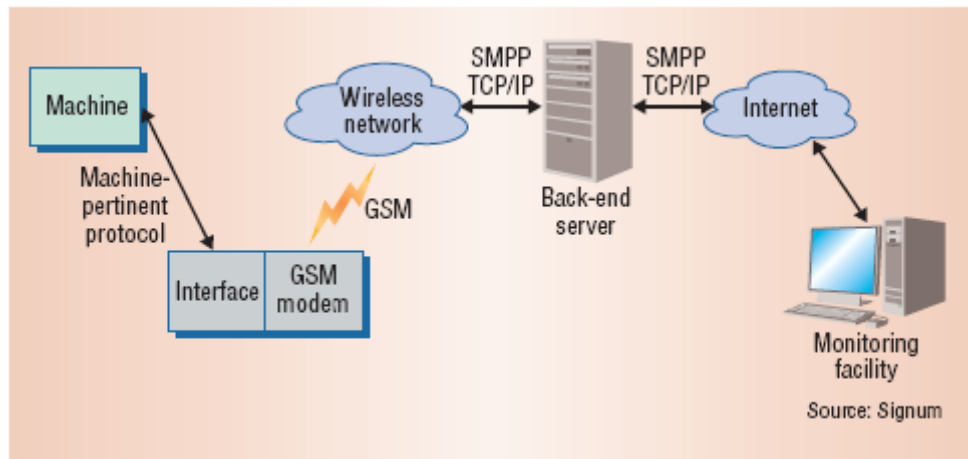


Figura 6 – representação de um sistema M2M [29]

Os sistemas M2M, conceptualmente, associam-se a representações como a da figura 6. Incluem, tipicamente, grupos de dispositivos “de campo” para monitorização de condições ou eventos no mundo real (sensores), ou para controlo de outros dispositivos físicos (actuadores). Incluem, além destas “comunidades” (redes) de dispositivos, equipamento de comunicações para levar a informação gerada ao *software* de arquivo e análise, produzindo decisões com base nessa análise.

Os sensores adquirem e agregam informação para transmissão através de um sistema de informação, englobando rede(s) de comunicação. Um *software* de gestão centralizada, com as mesmas funções que caracterizam os programas existentes nos sistemas SCADA, toma decisões a partir dessa informação e envia para a rede comandos que espelham essas decisões, gerando os sinais eléctricos necessários para actuadores ou sensores concretizarem as acções pretendidas.

Este conceito M2M insere-se, como referido, numa tendência para a distribuição de componentes dos sistemas de gestão, nomeadamente no contexto industrial (e nos serviços). A natureza distribuída destes sistemas de instrumentação industrial, embora introduzindo inúmeras vantagens relativamente aos sistemas monolíticos – caracterizados pela capacidade de processamento concentrada no centro do sistema – não escapa a desafios importantes.

Várias estruturas e organizações físicas e lógicas dos sistemas de controlo industrial distribuídos têm em comum a possibilidade de utilização de diversos tipos de rede e, portanto, diversos tipos de protocolo de comunicação (meios de comunicação). Por outro lado, a modularidade que caracteriza estes sistemas implica, naturalmente, que exista a necessidade de integrar um número substancial de sistemas, dispositivos ou aplicações de software que, na génese, não estão ou não foram pensados para funcionar em conjunto.

As empresas e a gestão das fábricas e sistemas desta natureza, se quiserem evitar problemas de compatibilidade gerados por diferentes softwares e protocolos “proprietários”, podem recorrer a um número o mais reduzido possível de fornecedores compatíveis, o que implica uma redução na capacidade de escolha de componentes e soluções, seja para que contexto ou nível da rede de instrumentação. As soluções podem, também, ser encontradas dentro de apenas uma lógica “proprietária”, comprando, por assim dizer, uma solução de integração das adições e actualizações (*updates*) que se entendem necessárias a uma só empresa, usando um conjunto fechado de comunicações e software proprietários, o que implicará, por conseguinte, custos elevados e uma total dependência tecnológica.

A introdução do *middleware* no fim dos anos 80 pressupunha, precisamente, a resolução de problemas desta natureza. O *middleware* constitui uma categoria de tecnologias de software desenhadas com o intuito de resolver – isto é, tornar funcional – a gestão de sistemas complexos e heterogéneos, como são inerentemente os sistemas distribuídos

2.3.3.2 Middleware

O *middleware* pode ser descrito como uma camada de software que é introduzida acima de um nível de “campo”, que podemos definir como o nível dos sistemas operativos que gerem localmente as componentes ditas de campo, e abaixo de uma camada constituída pelos programas de aplicação do sistema distribuído. Esta primeira camada tem o objectivo de providenciar um nível abstracto de programação comum para todo o sistema distribuído. O nível de *middleware* permite, nesta estrutura, munir os programadores de um mecanismo de configuração e programação do sistema que está a um nível superior ao das interfaces de aplicação de programação dos sistemas operativos locais, com o objectivo de tornar programável o sistema distribuído, da mesma forma que um sistema operativo é necessário para facilitar a programação e operação de um computador.

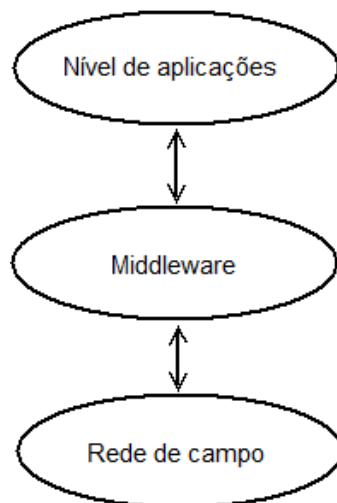


Figura 7 – Estrutura de software e papel do Middleware num sistema genérico

Os *softwares* do tipo *Middleware* podem ser categorizados de acordo com o nível de heterogeneidade que efectivamente providenciam em termos de *hardware* e de redes.

Os *software* de *middleware* mais comuns correspondem a aplicações de gestão de bases de dados relacionais distribuídas – *distributed relational database* em que os programas ou aplicações que fazem uso da informação (*data*), podem estar localizados em computadores diferentes daqueles onde a informação propriamente dita está localizada. A manipulação das bases de dados por programadores é facilitada pelo uso do SQL (*Structured Query Language*), uma linguagem de programação dos critérios de arquivamento e, sobretudo, de pesquisa e associação de dados.

Outras categorias incluem os *softwares* RPC – *remote procedure call* – e MOM – *message oriented middleware* –, que providenciam camadas de abstracção para uso em redes, permitindo aos programadores a invocação de procedimentos noutros pontos de uma rede e, também, permitindo, dentro desta, a troca de mensagens.

Em contexto de sistemas distribuídos, por exemplo em redes de instrumentação industrial, é de referir a importância dos *softwares* DOM – *distributed object middleware*. Esta categoria de *middleware* tem como objectivo disponibilizar a uma camada de abstracção “objectos” remotos, permitindo a invocação de métodos que os caracterizam, como se se tratasse de um “objecto” no mesmo local do programador ou invocador.

Os exemplos mais importantes deste tipo de *middleware* são os modelos CORBA e DCOM. O CORBA – *common object request broker architecture* – foi desenvolvido em 1991 pela OMG (object Management Group), um consórcio de várias empresas (IBM, Sun, etc) formado com o intuito de estabelecer “standards” para sistemas distribuídos orientados a objectos. O DCOM – *distributed component object model* – foi desenvolvido pela empresa Microsoft, constituindo uma tecnologia de carácter “proprietário” para comunicação entre aplicações de *software* distribuídas numa rede de máquinas ou computadores.

A construção de uma plataforma de *software* do tipo *middleware* não exige o desenvolvimento ou aprendizagem de linguagens de programação específicas, podendo ser utilizadas linguagens existentes, dentro das quais se destacam, para este tipo de aplicações, C++ e Java. Esta última, em especial, possui uma grande capacidade de portabilidade entre plataformas de *hardware* e sistemas operativos, permitindo que

aplicações escritas nesta linguagem funcionem numa variedade de plataformas existentes. Esta capacidade concretiza-se através da compilação da linguagem para um conjunto de instruções situadas num nível de representação intermédio – designado por *bytecode* –, em detrimento de uma compilação directa para código-máquina. Durante a execução, estas instruções são interpretadas e executadas por uma Máquina Virtual (*Virtual Machine, VM*) – uma plataforma de *software* que é especificamente desenvolvida para ser executada por uma determinada máquina física.

Há diversas plataformas de *software* baseadas em Java, de acordo com os contextos de hardware e de aplicação, como por exemplo a *Java Platform, Micro Edition*, especialmente vocacionada para sistemas embebidos, *mobile devices*, normalmente com limitações de recursos.

2.4 Estruturação e especificação do sistema

2.4.1 Duas estratégias de estruturação

Este conjunto de requisitos permite duas estratégias de estruturação do sistema, no que diz respeito à natureza do cliente e à distribuição de funções e de processamento entre as componentes deste sistema:

- uma **primeira estratégia** consistiria em optar por um sistema auto-contido. Este caracterizar-se-ia pela existência de um computador, que acompanharia o módulo de comunicação sobre a internet, e que alojaria ele próprio as funções de um servidor completo – o que incluiria não só a página da Internet acessível por *Web Browser*, mas, também, toda a capacidade necessária de arquivamento e processamento dos dados provenientes da rede de sensores. Estes seriam assim tratados estatisticamente e representados graficamente, sendo, por conseguinte, acedidos a partir de clientes simples (*Thin clients*) sobre a Internet, os quais poderiam ser apenas computadores ou *Web-devices* (*netbooks*, telemóveis com acesso à Internet, etc), sem quaisquer capacidades adicionais. A existência de um computador – isto é, um processador de

capacidade elevada com todas as características dos computadores pessoais comercializados – permitiria também a introdução de dispositivos de visualização local – um monitor táctil – que permitiria e facilitaria, por exemplo, a configuração do sistema no local, no momento da instalação, sem recurso à Internet.

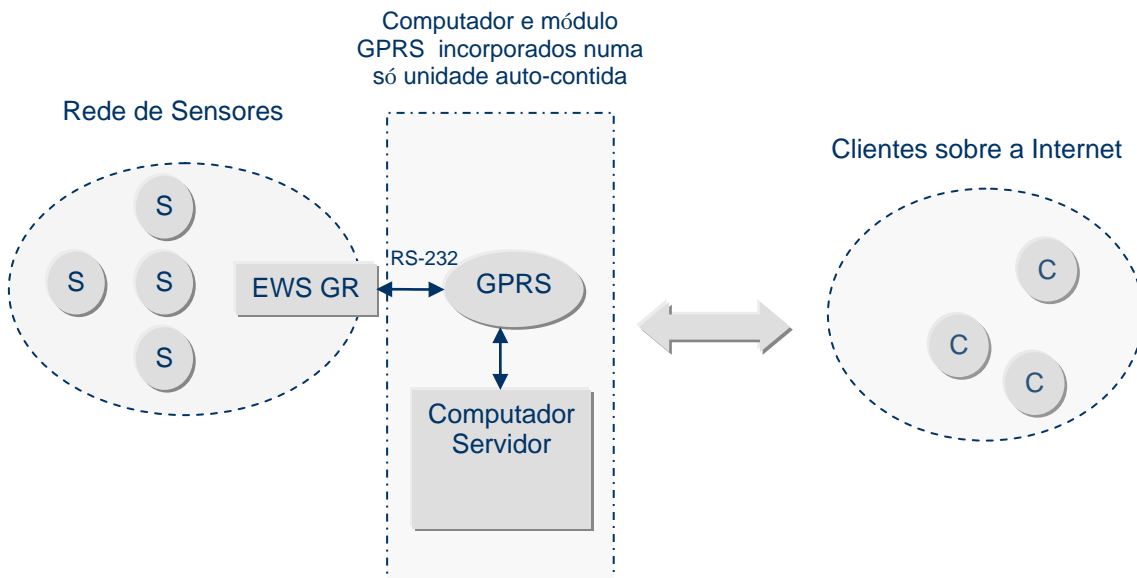


Figura 8 - representação da primeira estratégia, com uma unidade auto-contida.

- uma **segunda estratégia** passaria por distribuir as funções de processamento dos dados proveniente da rede de sensores para um computador remoto constituído como Servidor que acumulasse basicamente as mesmas funções do computador descrito na primeira estratégia. Nesta abordagem, a rede LAN de sensores comunica com um módulo de comunicação que é membro dessa mesma rede, e que tem a responsabilidade de permitir a comunicação com o computador servidor. Este computador que, a título de exemplo, pode estar localizado na sede da empresa ou organização que esteja responsável pela instalação e funcionamento do sistema de monitorização, constituir-se-ia assim como o Servidor, do ponto de vista da comunicação, do sistema, isto é, disponibilizaria serviços a *Thin Clients* ou *Thick clients* – *Web devices* sobre a Internet – ou de utilizadores na própria sede, no local do computador. O módulo de comunicação membro da rede constituir-se-ia como mais um “*thin client*” do servidor comum, realizando a interface entre a rede de sensores e este servidor, disponibilizando-lhe os sobre a Internet, sendo que toda a configuração e parametrização das componentes da rede de sensores poderia ser efectuada remotamente.

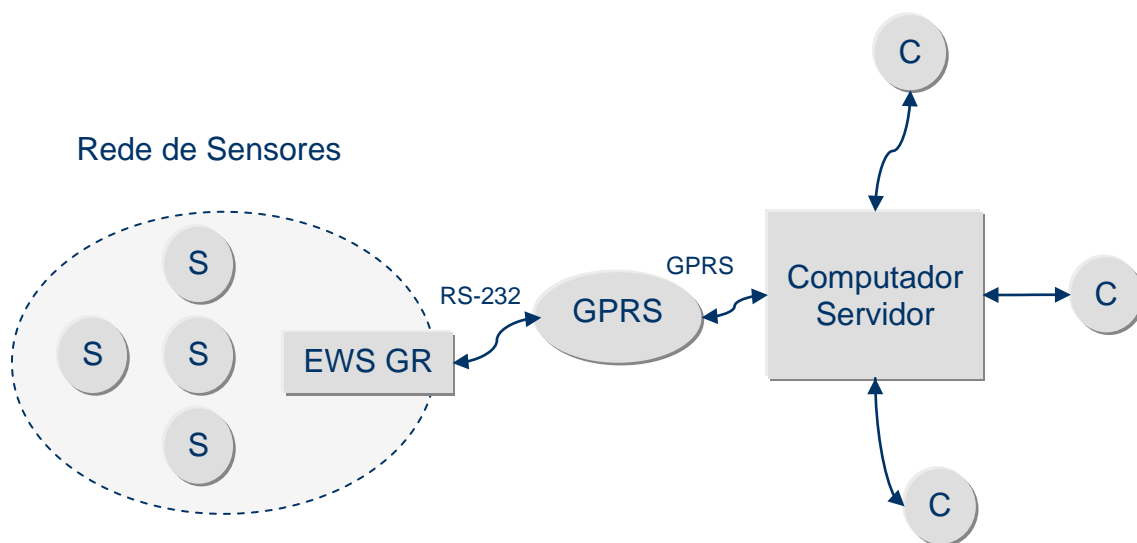


Figura 9 - representação da segunda estratégia, com unidade central remota – computador servidor

Um sistema que esteja estruturado de acordo com a primeira estratégia – a inexistência de um computador servidor central, apenas havendo acesso de *thin clients* – obrigaria a unidade *gateway*/central a dotar-se de capacidade em termos de software para produzir, analisar e representar os dados provenientes da rede de sensores. Os sensores inteligentes enviariam dados já no formato pretendido para análise – isto é, na forma de valores de velocidade, medidos ao longo de um período de tempo, ou referentes a um evento – para este dispositivo, que teria, ainda assim, de os organizar, combinar, processar para efeitos estatísticos e proceder à representação, criando nova informação tratada e semanticamente traduzida para análise directa do utilizador, incluindo análise no domínio da frequência. A existência do computador no local – isto é, de uma maior capacidade de processamento e de armazenamento – seria, portanto, imprescindível, e acarretaria, evidentemente, um maior custo global do sistema a instalar, quer em termos financeiros quer de consumo energético do sistema. Em caso de ausência de alimentação de sector no local de aplicação, o recurso a bateria torna desaconselhável tal solução.

Neste quadro, a informação gerada – disponível sobre a forma de uma página de *Web* – teria que ser enviada, sobre a Internet, para um *thin client*, que se limitaria a representá-la. O formato dos dados consequente, obrigaria a taxas de transferência ou a

períodos de transferência para o *thin client* demasiado exigentes, sem vantagem significativa. Por outro lado, haveria redução da flexibilidade na elaboração de relatórios e um aumento da complexidade da unidade concentradora local, cuja eficiência teria que ser conseguida por um computador relativamente mais poderoso no local, envolvendo um consumo de potência não consentâneo com alimentação por bateria. Para mais, a concentração de funções de processamento e armazenamento no próprio sistema de monitorização instalado – por exemplo, no cenário de uma monitorização temporária – implica que o acesso remoto ao servidor, à página e portanto aos dados, obrigaria, obviamente, a um estado de funcionamento e disponibilidade contínuos, o que nos faz regressar a dificuldades operacionais relacionadas quer com os consumos energéticos, quer com a capacidade de portabilidade do sistema.

Por estas razões, a segunda estratégia pareceu-nos, pelo menor custo e menor complexidade do sistema mais adequada para a estruturação do sistema.

2.4.2 *Quadro de especificação*

Com base no enunciado dos requisitos do sistema, entendemos que as especificações do sistema devem suportar duas soluções associadas:

- Rede de monitorização temporária: entendemos que a rede LAN sem fios que confere as capacidades de robustez e flexibilidade, o alcance adequado aos cenários explanados (em distâncias e tipologia de obstáculos) e número reduzido de unidades, deve operar na banda de frequências livres 433 MHz.

- Rede de monitorização permanente: O protocolo CAN afigura-se como uma solução experimentada para redes com fios, disponibilizando alimentação às unidades e permitindo uma solução de monitorização permanente acrescida de capacidade de segurança para operação em ambientes explosivos.

As unidades de monitorização serão sensores inteligentes, de pequena dimensão com acelerómetro triaxial de tecnologia MEMS, que compreendam toda a cadeia de aquisição e tratamento de dados, para libertação de capacidade de processamento da unidade gateway de rede, e características *Plug and Play*, além de se perspectivar configurarem os requisitos estipulados pelas directivas ATEX e pela norma técnica IEC 60079.

As unidades *gateway*, de acordo com as soluções de rede de monitorização temporário e permanente, devem configurar capacidade de concentração de dados provenientes das redes de sensores (*wireless* 433 MHz e CAN, respectivamente) servindo de *gateway* entre essas redes e a internet.

A ligação à Internet deve ser providenciada através de um módulo GPRS, isto é, a unidade *gateway* deve integrar uma unidade de comunicação GPRS, e tendo também em conta uma estratégia de estruturação do sistema baseada na existência de um *regular client*. Esta solução parece-nos a mais adequada tendo em conta que as necessidades em termos de taxa de transferência de dados não serão absolutamente decisivas.

2.5 Actual oferta no mercado

Não há muitas soluções comercializadas de sistemas globais de monitorização de vibrações como tele-medida, isto é, sistemas de tipo redes de sensores de vibrações com uma unidade do tipo *gateway* a providenciar acesso remoto para configuração e recepção de dados.

Registamos como “ícone de mercado” a empresa suíça Syscom, que comercializa um sistema que cumpre estas funções globais, o *MR2002-CE Civil Engineering System* [30]. Este sistema compreende uma unidade central, *gateway* e concentradora com soluções disponíveis (opcionais) de comunicação para acesso à internet (incluindo configuração por Web Browser) baseadas em módulos externos GPRS e WIFI para redes WAN. A *gateway* é também membro de uma rede de sensores dotados de acelerómetros triaxiais MEMS para medição de aceleração e determinação de velocidade de pico) baseada em comunicações *Ethernet* baseada no *standard* IEEE 802.3. A unidade central interconecta-se com (até) 8 unidades de monitorização, em topologia estrela.

A solução inclui ainda uma aplicação de software de análise e representação de dados, provenientes dos sensores e acedidos num portátil ou computador *regular client*. Este sistema é comercializado em Portugal – com um sensor e sem incluir mala de transporte – pelo valor de 5,988€ pela MRA Instrumentação, representantes da Syscom neste país.

É, contudo, imediatamente claro que a ausência de soluções LAN sem fios, para a rede “interna” de sensores, torna este sistema, do ponto de vista das suas capacidades, insuficiente, apesar de robusto e com flexibilidade de opções para acessibilidade sobre Internet, na óptica dos requisitos dos cenários enunciados para o sistema de monitorização de estruturas.

3 ARQUITECTURA DA SOLUÇÃO

3.1 Especificação Funcional do Sistema

Como referido num primeiro conjunto de especificações com base nos requisitos enunciados no capítulo anterior, a solução desenvolvida corresponde a um sistema que integra várias componentes com funções específicas. A figura 10 representa um diagrama de blocos dos componentes do sistema, bem como as relações de correspondência entre si, cuja descrição detalhada a seguir se apresenta, componente a componente.

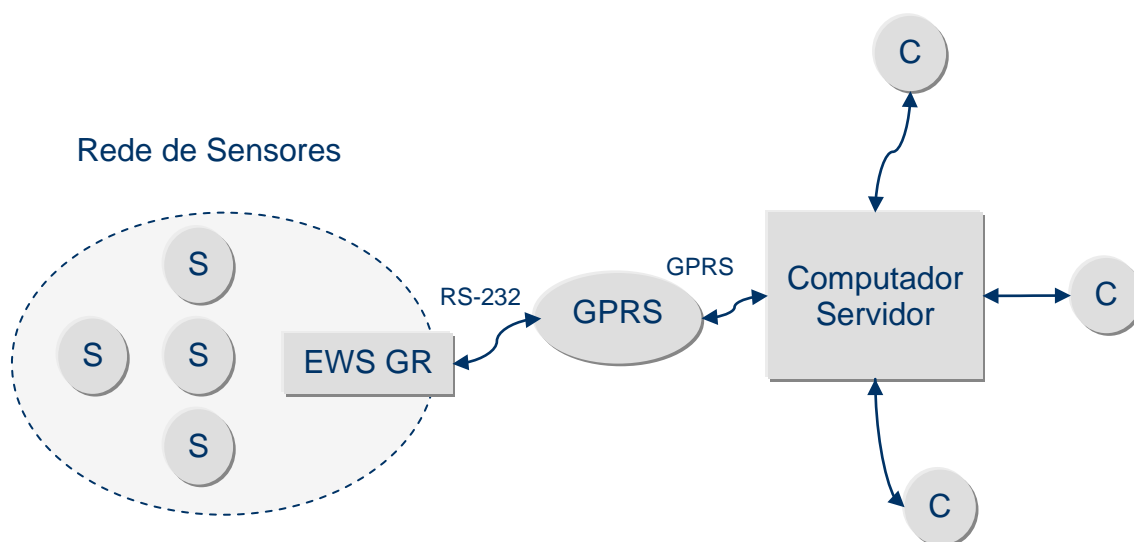


Figura 10 - Representação global do sistema de monitorização

3.1.1 Sensores Inteligentes

A sua primeira função é a aquisição de dados de aceleração, utilizando um acelerómetro MEMS – como é o caso nos EWS TA3T-c da Eneida, que se integram numa rede CAN. De acordo com as especificações decorrentes dos requisitos, estas unidades devem integrar no tempo os dados de aceleração, determinando valores de velocidade. Sensores semelhantes ao EWS TA3T-c estão a ser desenvolvidos na ENEIDA para comunicação sem fios na banda ISM dos 433 MHz.

Uma vez que este projecto se centrou no desenvolvimento da plataforma de comunicações que sirva de interface entre as redes locais de sensores e um utilizador à distância, sobre a internet, optou-se por considerar, como cenário prático de integração, uma rede de sensores da Eneida: EWS TA3T-c [13] e EWS TA3T-r [31]

Ambos os tipos de sensor constituem plataformas baseadas no microcontrolador MSP430F2410 [11] da T.I., de arquitectura RISC de 16 bits, com velocidades de *clock* até 16MHz, com característica de baixo consumo (1.8V – 3.6V), com potência consumida de 0,5 mW para a tensão de 2,2V, no modo de funcionamento activo, e 56Kb + 256Kb de memória Flash, juntamente com 4Kb de RAM. Possui também interfaces de comunicação para ligações input/output de série (USCI – *Universal Serial Communication Interfaces*), nomeadamente para suporte de UART ou SPI/I²C. No caso da unidade EWS TA3T-c (que usamos como exemplo primordial, uma vez que está testada e comercializada) – foi acrescentada capacidade para comunicação CAN – o transceiver utilizado como interface para CAN-CAN bus é o SN65HVD230 [32], também da TI, sendo que o controlador responsável pela gestão dos processos da comunicação é o controlador CAN MCP2515 [33], da Microship.

O acelerómetro MEMS triaxial confere a capacidade de medição de vibração – valores de aceleração – à EWS TA3T-c, sendo linear na banda de frequência de 640Mhz com uma resolução de 12 bits. A informação gerada compreende valores instantâneos e eficazes (RMS) de aceleração e apenas valores eficazes de velocidades.



Figura 11 - EWS TA3T-c

3.1.2 Gateway do Sistema de monitorização.

Este tipo de dispositivo tem a função de providenciar uma capacidade de “tradução” entre redes caracterizados por meios físicos e/ou protocolos de comunicação díspares, prestando, também, serviço de *routing* – encaminhamento ou direccionamento de mensagens - entre as mesmas. No sistema desenvolvido, é necessário implementar uma *gateway* ou *gateways* que permitam a comunicação de dados e comandos – bi-direccional – entre a rede de sensores e o módulo de comunicação GPRS. O desenvolvimento deste trabalho incidiu fundamentalmente sobre o módulo de comunicação GPRS e sobre um computador com funções de servidor remoto – computador Central –, pelo que, à semelhança do que foi feito com os sensores, optou-se pela utilização de unidades que haviam já sido desenvolvidas para o cumprimento de tarefas deste tipo.

Gateways do Sistema

O conjunto de unidades desenvolvidas ou em desenvolvimento, com interesse para esta aplicação, inclui:

- uma unidade *router* CAN – designada por RCAN - , com três braços CAN para ligação de unidades sensores, com funções de *routing* de comunicações e distribuição de alimentação energética às unidades, que se encontra em desenvolvimento;

- uma unidade *gateway* CAN-433MHz, designada por EWS G433M;

- a unidade EWS GR [34], uma *gateway* CAN – RS232, com especial importância, uma vez que é esta unidade que é utilizada como interface entre a rede de sensores de monitorização de vibração – fazendo parte dela – e o módulo GPRS.

Estas unidades de segunda geração são baseadas, todas elas, no microcontrolador MSP430F2410 da Texas Instruments (TI). As unidades de comunicação CAN incluem, como nos exemplos já referidos, o controlador CAN MCP2515 e o transceiver SN65HVD230. A unidade de comunicação usada para comunicação na banda de frequências livre 433 MHz é o transceiver RXQ2-433 da Telecontrolli.

O desenvolvimento de uma segunda geração deste tipo de dispositivos foi suscitado para satisfazer os requisitos das directivas ATEX e das recomendações técnicas de IS (Segurança Intrínseca), estabelecidas em requisitos técnicos no *European Standard for Explosive Atmospheres*, EN 60079, nomeadamente em termos de consumos de potência, através da introdução de dispositivos de limitação de tensões e correntes. Tiveram-se em conta, igualmente, as recomendações da proposta de especificação CAN-CIA 103, para implementação de CANbus em contexto IS.

Soluções de arquitectura para redes de sensores de vibrações

Uma solução de arquitectura para um sistema de monitorização permanente foi desenvolvida em torno da *gateway* RCAN, enquanto nó coordenador de uma rede CAN, disponibilizando dois de três segmentos (até 10 metros de comprimento, se em ambientes perigosos, de acordo com recomendações do CAN-CIA 103) com integração dos sensores referenciados. O segmento restante suporta uma ligação a um sub-sistema de dois dispositivos: uma unidade *gateway* pura CAN-RS-232 associada a uma unidade GPRS. (ver figura 12).

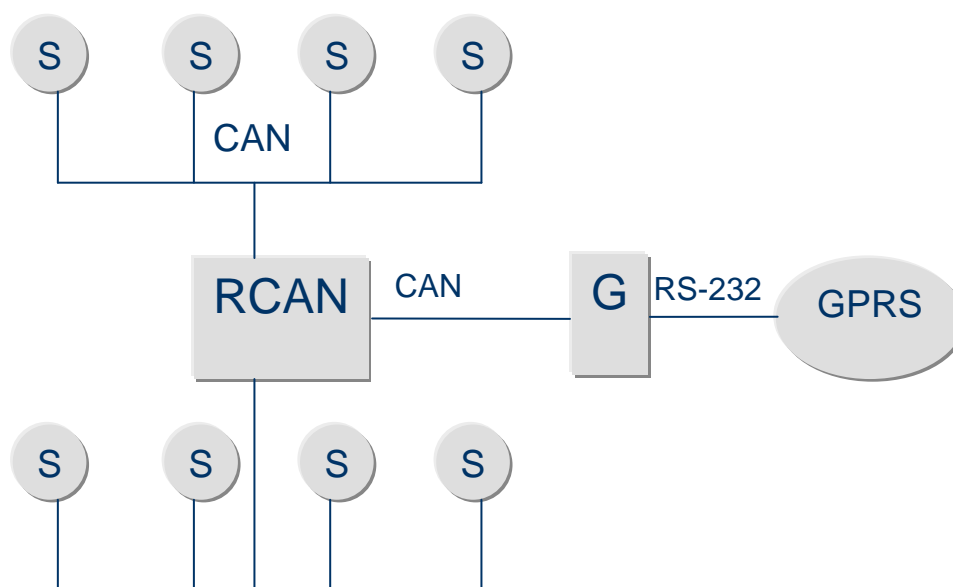


Figura 12 – arquitectura de uma solução para redes permanentes

A mesma arquitectura de rede pode ser adaptada para incluir redes de dispositivos *wireless*, usando uma unidade *gateway* CAN-433 MHz para acesso a redes nessa gama de frequências, em substituição da RCAN ou, se necessário, em conjugação com ela. Isto permite suprir, do ponto de vista dos requisitos, os objectivos de

implementação de um sistema de monitorização relativamente aos dois cenários globais (temporário e permanente).

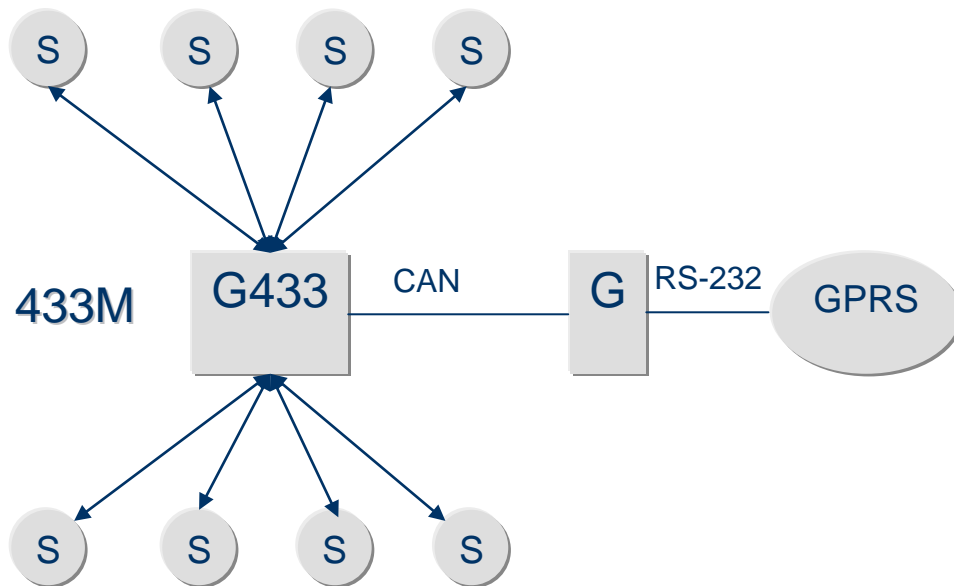


Figura 13 – arquitectura de uma solução para redes temporárias

3.1.3 Módulo de comunicação GPRS

O módulo de comunicação GPRS tem como funções providenciar uma interface de comunicação entre a rede de sensores de vibração e o computador que concentrará as funções de servidor da aplicação.

A unidade GPRS escolhida é uma Cinterion TC65T [35], com várias interfaces de ligação configuráveis (GPIOs, I2C, SPI, RS232) para fácil integração em dispositivos num quadro M2M. Permite operação em 4 bandas de frequências disponíveis (850, 900, 1800, 1900 MHz) e inclui uma pilha de protocolo TCP/IP, cuja importância será explanada mais à frente. O processador ARM7 [36] é a base desta unidade, que possui ainda 400Kbytes de memória RAM e 1,7Mbytes de memória Flash.



Figura 14 - TC65T [37]

É possível utilizar esta unidade para vários contextos de comunicação, como SMS – via GPRS ou GSM – ou, mesmo, para comunicação de voz.

O funcionamento do modem a vários níveis, nomeadamente os parâmetros da pilha TCP/IP e outras características, como a lógica de iniciação do funcionamento do módulo, foi programado por comandos AT tendo-se utilizado a aplicação *Hyperterminal*, aplicação de comunicação em Série – RS232 – para o efeito.

Com a pilha de protocolo TCP/IP, está implementada uma plataforma JAVA que é constituída por uma máquina virtual JAVA (*Java virtual machine*), que disponibiliza interfaces de programação (API – *application programming interfaces*) para a própria pilha TCP/IP, para a interface de Série RS232 e para o sistema de ficheiros da memória *Flash*.

A aplicação de *software*, que permitiu operar o módulo, foi construída com base nesta plataforma, como se explicará e descreverá melhor no capítulo IV. O módulo TC65T permite, ainda, a actualização remota e sem fios – *over-the-air* (OTA) – de aplicações que estejam implementadas, embora esta capacidade não tenha sido explorada no contexto deste projecto.

Funcionalidades do TC65T

De modo sucinto, o conjunto de funções do módulo de comunicação GPRS incluem:

(i) a comunicação automática de dados gerados pela rede de sensores para o servidor remoto e,

(ii) a retransmissão de comandos – ordens ou reparametrizações de funcionamento – emitidos por um “*thin*” ou “*thick*” *clients*, para o(s) sensore(s) pretendido(s). Do ponto de vista da comunicação, o módulo GPRS é explorado como cliente de uma ligação cliente-servidor, em que o servidor é o computador remoto (unidade central).

Plataforma JAVA

A plataforma Java visada foi a J2ME [38] – *java 2 micro Edition* – ou JME – *java micro Edition* – da Sun, precisamente por estar adequada às restrições típicas dos

dispositivos portáteis ou embebidos de desempenho reduzido, como são os telemóveis ou os PDA, mas também dispositivos como o módulo TC65T. Mais concretamente, utilizou-se uma versão desta plataforma disponibilizada pela Siemens para operar especificamente o TC65T: a TC65 R3 Wireless Toolkit, através do IDE – *Integrated Development Environment* – gratuito *Netbeans* [39], também ele próprio desenvolvido em JAVA.

A tecnologia da plataforma JME assenta em três elementos fundamentais:

- uma configuração que providencia um conjunto de bibliotecas e capacidades em termos de máquina virtual para uma panóplia vasta de dispositivos;
- um perfil que se constitui numa série de interfaces de programação (API) para um conjunto mais restrito ou específico de dispositivos;
- pacotes opcionais de API para tecnologias específicas.

A configuração para dispositivos como o TC65T é chamada de CLDC – *Connected Limited Device Configuration* – e o perfil de especificações coerente com este tipo de dispositivo é chamado de MIDP – *Mobile Information Device Profile*. A CLDC possui uma máquina virtual JAVA designada por KVM – *K Virtual Machine* – que tipicamente se destina a microprocessadores RISC de 16 bits, como é o caso com o microprocessador ARM do módulo TC65T. Esta máquina virtual não é tão capaz como a disponibilizada pela configuração CDC – *Connected Device Configuration* – também disponível para a plataforma JME, que é efectivamente uma JVM – *JAVA Virtual Machine*. Esta configuração, no entanto, exige dispositivos mais capazes, com processadores de 32 bits, e maiores áreas de memória.

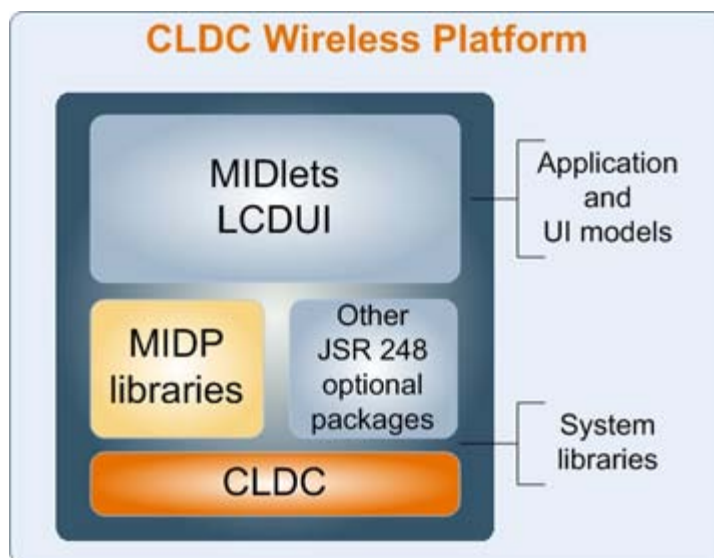


Figura 15 - Plataforma JAVA com base na configuração CDLC [40]

MIDlet

A aplicação padrão para o perfil MIDP, e para a configuração CLDP – a aplicação que, efectivamente, foi desenvolvida para o módulo – designa-se por MIDlet e é uma aplicação escrita na linguagem JAVA, com recurso a bibliotecas e recursos reduzidos, de modo a ser executada por um dispositivo simples como o TC65T.

O ficheiro principal de um MIDlet é um ficheiro de extensão jar (.jar, *Java ARchive*), que, no fundo, corresponde a um ficheiro compactado – inclui vários ficheiros, ou várias classes - e que é executado pela máquina virtual, e, portanto, pelo dispositivo. Normalmente, este ficheiro é acompanhado de outro, de extensão .jad (.jad, *Java Application Descriptor*), que contém a localização e uma descrição dos conteúdos do ficheiro de extensão .jar.

Esta aplicação – este MIDlet – como se explanará melhor, considera-se uma aplicação cliente de uma aplicação servidor – através uma ligação *Socket* – que está alojada no computador servidor.

3.1.4 Computador – servidor. Unidade Central.

Funcionalidades

O servidor instalado na unidade central tem como principais funções possibilitar:

- (i) a recepção e o envio de mensagens, de e para o módulo de comunicações GPRS – o módulo TC65T,
- (ii) a concentração e arquivamento ordenado dos dados,
- (iii) a interação com um utilizador humano através de um *thin* ou *thick client* – através de um PC (portátil), PDA ou telemóvel - sobre a Internet, com base numa página *web*.

Estas funções são levadas a cabo por aplicações – servidores – inter-comunicantes:

- uma aplicação servidor de gestão de comunicações, construído de modo a sustentar pedidos de ligação do tipo *Socket*, sobre os conjunto de protocolos TCP/IP.

- um servidor de base de dados, que integra bases de dados e tabelas que permitem o arquivamento e acesso aos dados provenientes da rede de Sensores, constituindo-se como componente do processo de comunicação de comandos e reparametrizações pretendido por um utilizador humano, para um ou mais sensores da rede de sensores.

- um servidor *web*, que aloja uma página *web* constituída como a interface homem-máquina do sistema.

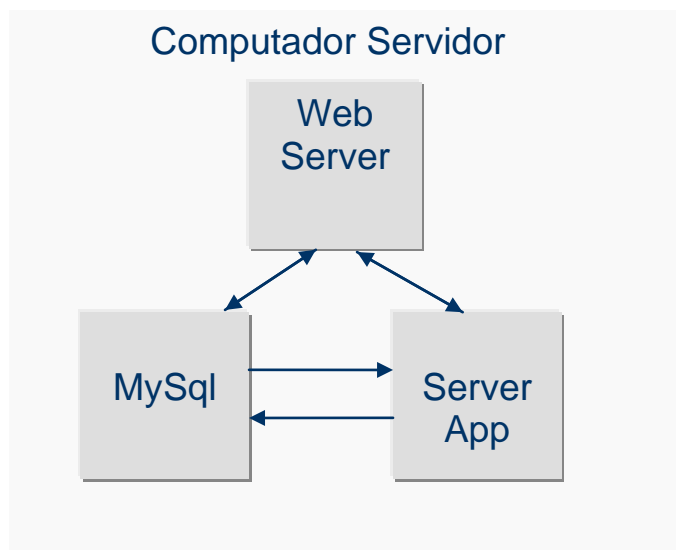


Figura 16 - Estrutura simplificada de servidores intercomunicantes da unidade central.

Aplicação servidor

À semelhança da aplicação “cliente”, a linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento da aplicação “servidor” foi o JAVA, com recurso, igualmente, a uma plataforma JAVA – desta vez a plataforma mais comum JAVA SE – *Standard Edition* –, que não têm as restrições da JME. A estruturação e funcionamento das aplicações cliente e servidor, juntamente com a comunicação entre os dois, são tratados no capítulo 4. Explica-se, também aí, a comunicação e integração desta aplicação com os servidores de base de dados e de Web, cujas tecnologias se descrevem agora.

Servidor Base de dados

Designa-se por servidor de base de dados um programa que disponibiliza serviços de, ou para, bases de dados a outros computadores ou aplicações, na mesma lógica cliente-servidor que já foi referida.

A utilização de um servidor de base de dados é perspectivada com o objectivo de fazer uso de algumas das suas características, nomeadamente:

- a possibilidade de utilizadores ou clientes poderem concentrar informação relevante num só local;

- a disponibilização de mecanismos, recursos ou serviços que permitam a prossecução de funções complexas tendo a informação como alvo, como pesquisas, ou pedidos de indexação ou ordenação no próprio servidor, com redução da troca de informação necessária entre este e os clientes;

- uma maior segurança que decorre da centralização da informação.

Sistemas de gestão de bases de dados

Dentro dos sistemas ou aplicações do tipo servidores de base de dados incluem-se os Sistemas de Gestão de Bases de dados, DBMS – *DataBase Management Dystems* – que integram uma plataforma de aplicações de software que possibilitam e facilitam o uso das características já referidas, isto é, a gestão do arquivamento e da pesquisa de dados armazenados. Existem vários modelos de organização de bases de dados, sendo que o mais popular é o modelo relacional em que tanto os dados como o modo como se relacionam entre si, estão representados na forma de tabelas que se podem relacionar ou interdependem. É esta lógica que está subjacente aos RDBMS – *Relacional DataBase Management Systems* – como o *MySQL*, *Microsoft Access*, *Microsoft SQL Server*, *Oracle*, entre os mais conhecidos.

A ferramenta de criação e gestão de base de dados utilizado neste projecto foi o *MySQL* [41], principalmente por ser gratuito (em aplicações não lucrativas) e abundantemente utilizado, praticamente sobre todos os sistemas operativos correntes. O *MySQL*, assim como muitas outras RDBMS, fazem uso de uma linguagem de programação que permite aos utilizadores inquirir ou consultar informações contidas nas bases de dados que, por essa razão, se denomina genericamente de SQL –

Structured Query Language. Embora podendo aproveitar-se a lógica relacional que o *MySql* permite, a estrutura de base de dados construída é “clássica”.

Para facilitar e acelerar a construção de uma base de dados de teste para este projecto, utilizou-se a ferramenta de software gratuita *phpMyAdmin* [42], escrita na linguagem de programação PHP, cujo objectivo é permitir e agilizar a administração de uma base de dados *MySql* através de uma interface gráfica baseada num *Web Browser*, como o Firefox Mozilla, ou o Internet Explorer.

A estruturação da base de dados pensada, implementada e testada no sistema será explicada no capítulo 4.

Servidor Web

Um servidor *Web* é simplesmente um programa ou aplicação que permite a disponibilização ou o acesso a um conjunto de conteúdos (informação, dados, imagens, etc) através do protocolo *Http* – *HyperText Transfer Protocol* –, um dos protocolos da camada de aplicação do modelo *TCP/IP*. Os conteúdos são geralmente introduzidos na forma de páginas *Web* – documentos *HTML* –, que são acedidas por clientes na lógica de relação servidor-cliente. Um *Web-browser*, por via do *Http*, requer o acesso aos recursos do servidor *Web*, que, de seguida, os disponibiliza ao cliente, havendo embora, também, a possibilidade do cliente enviar conteúdos – como ficheiros – para o servidor.

Alguns servidores *Web* compartimentam as suas próprias funções através de *scripts*, ou programas construídos em linguagem do tipo *script*, como o PHP e *HTML*, permitindo, por exemplo, implementar alterações nos conteúdos de modo dinâmico – *dynamic content* – enquanto se mantém inalterado o *software* do servidor propriamente dito.

O servidor *Web* utilizado no projecto, também com estas características, foi o *Apache Http Server* [43]. Optou-se por esta aplicação, pela sua portabilidade para qualquer sistema operativo disponível e também por ser gratuito e de livre acesso. Sobre

o *Apache*, construiu-se uma página *Web* com o objectivo de servir de interface homem-máquina (HMI), entre um utilizador-cliente deste servidor e todo o sistema de monitorização. A estruturação do servidor *Web* e da página *Web* implementada será explicada mais minuciosamente no capítulo 4, assim como a estratégia de integração de todas estas componentes/servidores, de modo a concretizar um sistema de troca e registo e representação de mensagens, dados e comandos.

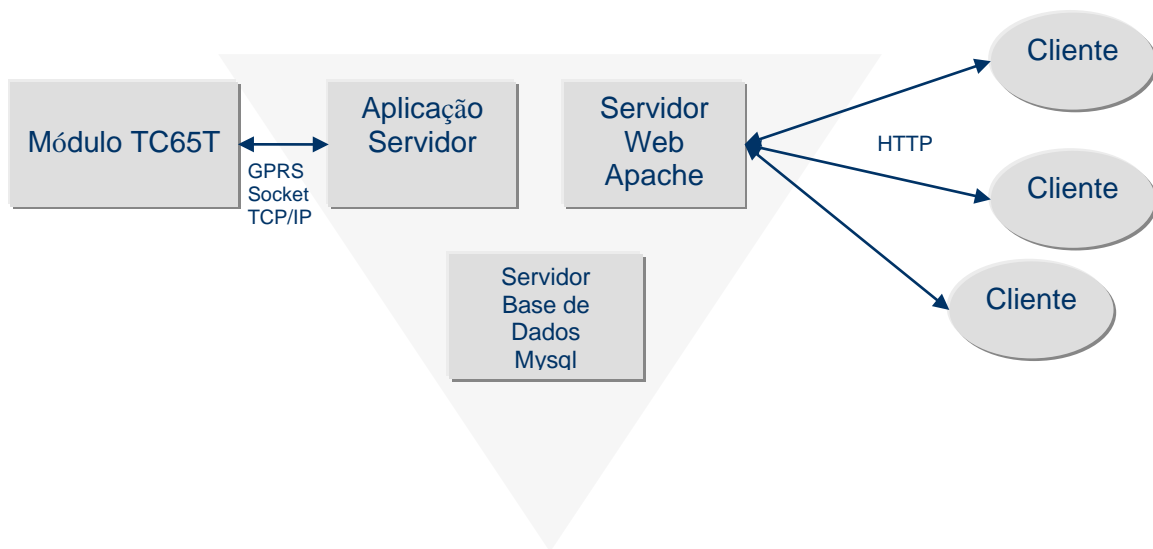


Figura 17 - Estrutura simplificada das componentes do Sistema módulo – Computador Servidor.

3.2 Mecanismos de comunicação da Rede

A comunicação de dados entre as várias componentes do sistema é possibilitada pela utilização de diversas tecnologias de comunicação, algumas já anteriormente abordadas.

A comunicação de dados e comandos na rede de sensores faz-se através de duas tecnologias, uma cablada e outra sem fios, CAN e 433Mhz respectivamente, como já foi referido. A utilização de gateways como a RCAN ou a G433M permite a introdução de interfaces de comunicação entre modos de comunicação diferenciados, que, no contexto do projecto, constituem o grupo de tecnologias CAN e RF 433MHz. A introdução de uma gateway como a EWS GR – gateway RS232-CAN – confere uma interface de Série RS232 que possibilita, assim, a ligação ao módulo de comunicação GPRS seleccionado. Nesta comunicação sobre RS232, a taxa de transferência adoptada entre as duas extremidades (a interface série do módulo TC65T e a interface da EWS GR) é de 115200 bit/s.

A tecnologia de comunicação disponibilizada pelo módulo para ligações a computadores sobre a internet é o GPRS/GSM, já anteriormente referida e que se aprofunda de seguida.

3.2.1 GSM/GPRS

A Figura 18 representa a arquitectura de sistema de uma rede GSM.

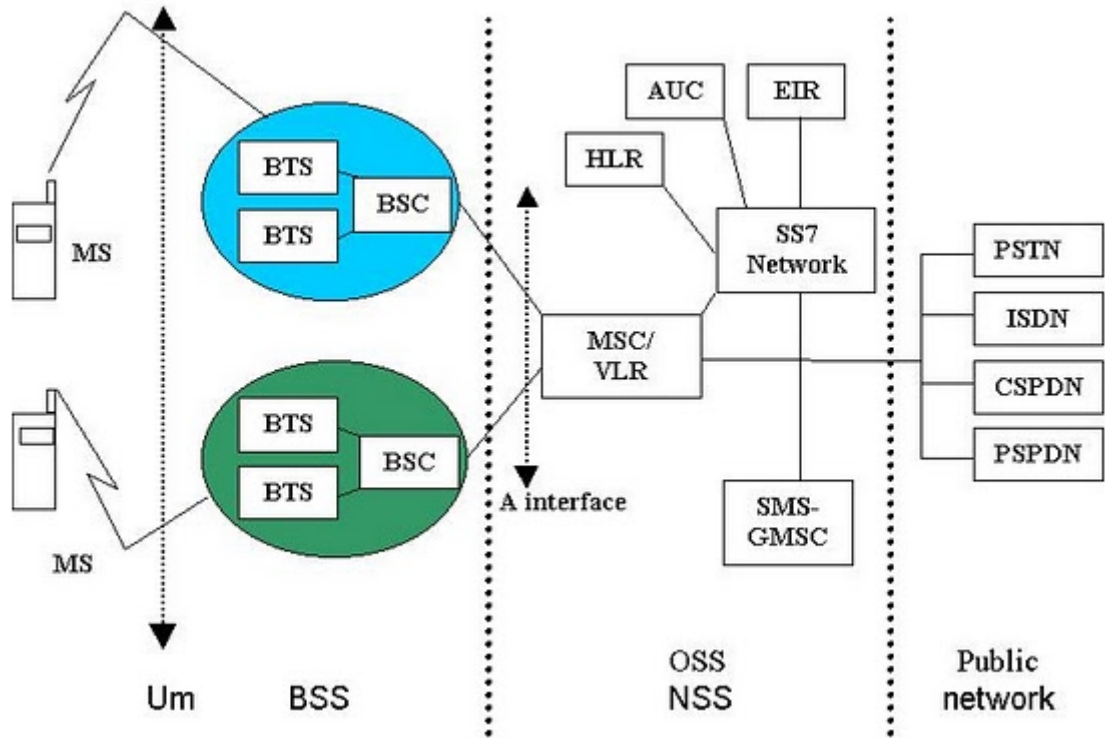


Figura 18 - Arquitectura de uma rede GSM [44]

Um GSM *MS* (*mobile system* – sistema móvel) é compreendido, basicamente, por um equipamento (telemóvel, por exemplo, ou, no caso deste projecto, pelo módulo TC65T) e um cartão SIM – *Subscriber identity Module* – que reúne os dados sobre o utilizador e a rede celular a que está associado o cartão. Um *MS* liga-se a uma estação *BTS* (*Base Transceiver Station*), que por sua vez está associada a uma estação *BSC* (*Base Station Controller*), a que podem estar ligados várias *BTS*. Um binómio *BTS-BSC* designa-se *BSS* (*Base Station Subsystem*). O tráfego combinado dos vários *BSS* é gerido e distribuído através de estações de *Switch*, designadas *MSC* (*Mobile Switching Center*).

Estas estações têm à sua disposição o acesso a bases de dados necessárias à gestão das chamadas e da rede, como a *HLR* (*home location register*), *VLR* (*visited*

location register), AUC (authentication center) e a EIR (equipment identity register), que acumulam dados permanentes, como o perfil do utilizador ou temporários, como a localização do utilizador. As chamadas ou ligações que têm como destino redes fixas como a ISDN (Integrated Services Digital Network) são geridas por uma estação específica, designada GMSC – gateway mobile switching center.

Cada utilizador de telemóvel – de uma estação celular móvel – é unicamente identificado pela IMSI (international mobile subscriber identity), que está registada no cartão SIM, e a que está associado um número, que é o número de telefone.

GPRS

A integração do GPRS neste sistema GSM obrigou a introdução de um novo tipo de nó de rede designado por GSN (GPRS support nodes), que tem, então, a responsabilidade do routing dos pacotes de dados entre as estações móveis – os

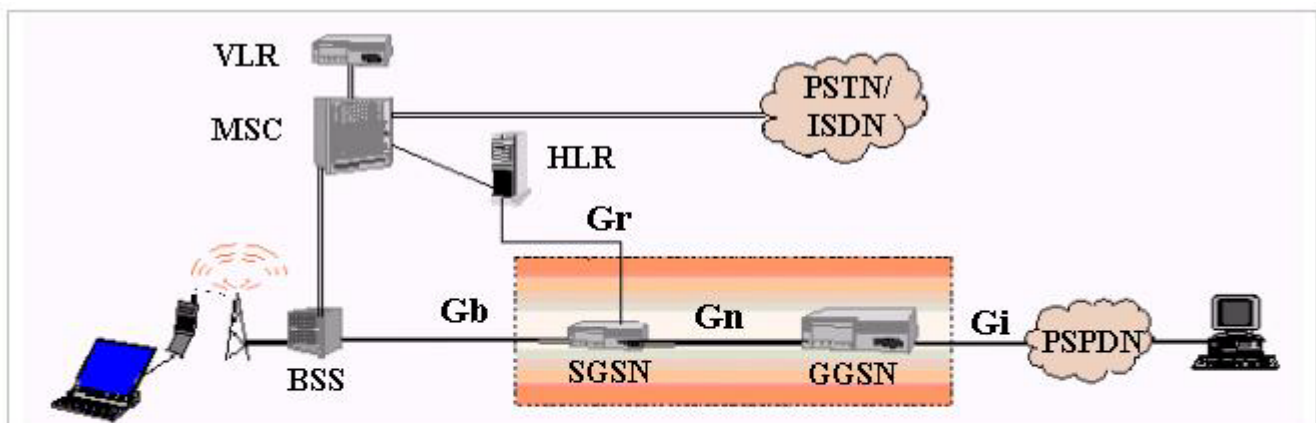


Figure 1. GPRS Network System Architecture

MSC	= Mobile Switching Center	PSPDN	= Packet Switched Public Data Network
VLR	= Visitors Location Register	SGSN	= Serving GPRS Support Node
HLR	= Home Location Register	GGSN	= Gateway GPRS Support Node
BSS	= BASE Station System	ISDN	= Integrated Services Digital Network

telemóveis – e as redes externas PDN (packet data networks), como a Internet.

Figura 19 - Arquitectura de uma rede GSM/GPRS [44]

Um GSN inclui um SGSN (Serving GPRS support node) que efectua as acções relevantes para o routing e transferência dos pacotes de dados, para a autenticação dos utilizadores/subscritores, etc. Este nó é secundado por outro, designado GGSN

(*Gateway GPRS support Node*), que funciona como interface entre a rede externa e a rede GPRS, convertendo os pacotes GPRS provenientes do nó anterior para o protocolo adequado característico da rede final, por exemplo, o protocolo IP. Da mesma forma, é esta gateway que permite que dados provenientes da rede externa sejam enviados para as estações móveis MS, convertendo os endereços de destino dos pacotes provenientes da rede externa em endereços GSM do utilizador destino, pacotes esses que assim são direccionados para as SGSN, onde, para o efeito, estão registados os endereços SGSN de cada utilizador, assim como o seu perfil.

Noutra perspectiva, pode compreender-se a integração de um dispositivo móvel – uma MS – por GPRS, numa rede externa, da seguinte forma:

- Uma MS obtém um endereço usado na rede externa (uma rede baseada na lógica dos pacotes de dados) e cria aquilo a que se designa um contexto da rede. Este contexto diz respeito aos atributos da rede externa, que incluem o tipo de rede, o endereço e a gateway GGSN que lhe está associada.

- Activado o contexto, a estação móvel pode enviar pacotes de dados para a SGSN do nó global SGN, que os organiza em pacotes típicos do protocolo IP, examinando o contexto e redireccionando para a gateway GGSN adequada.

- É a GGSN que os envia sobre a rede IP.

No sentido inverso temos:

- pacotes de dados provenientes da rede são reencaminhados, primeiramente, para uma gateway GGSN, que acedendo às bases de dados obtém a localização do dispositivo móvel para onde se pretende enviar a informação. A GGSN organiza os pacotes, de acordo com os pacotes da rede GPRS, e envia-os para a SGSN do dispositivo móvel.

- A SGSN recebe os pacotes provenientes da GGSN e envia-os para o MS.

Cada GGSN tem um endereço IP associado, e é a GGSN que associa, igualmente, cada estação móvel a um endereço IP, que retém, assim, o mesmo prefixo de rede da gateway. É, assim, possível integrar um dispositivo móvel numa rede de pacotes de dados como a internet, usando a tecnologia GPRS.

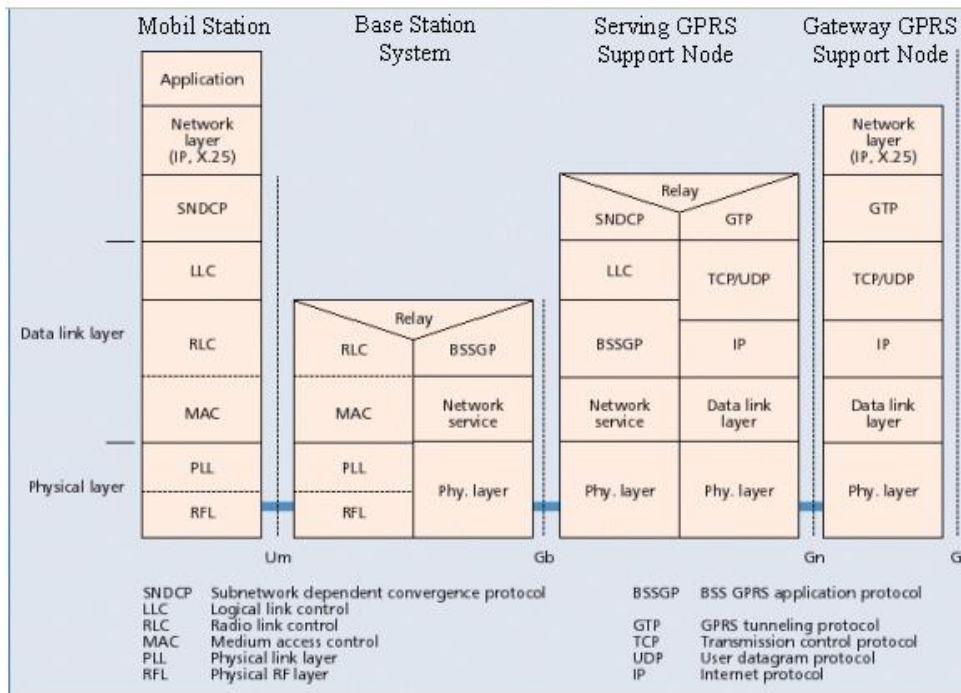


Figura 20 - Organização de protocolos por nó, na rede GPRS [44]

3.2.2 Comunicação Módulo TC65T – Servidor

A comunicação entre o módulo TC65T e o computador é estabelecida por uma ligação do tipo *socket* entre duas aplicações – uma no módulo, do tipo cliente, e outra no computador, do tipo servidor. Esta ligação *socket* faz-se sobre o conjunto de protocolos de comunicação TCP/IP, que, como referido, é uma das capacidades do módulo TC65T, e, por isso, se aprofunda de seguida.

TCP/IP

A pilha de protocolo TCP/IP [45] – *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* - inscreve-se num conjunto de protocolos de comunicação desenvolvidos nos anos 70 no âmbito da ARPANET – um projecto de redes do departamento de defesa norte-americano. O principal objectivo deste grupo de protocolos consistia em providenciar serviços de comunicação entre redes de dispositivos físicos, como computadores, permitindo assim o estabelecimento de uma rede interconectada. É, justamente, o conjunto de protocolos em que a Internet se sustenta.

Uma faceta importante deste grupo de protocolos é que permite a criação de uma camada de abstracção *standard* dos mecanismos de comunicação presentes em cada rede. Cada rede é caracterizada pelas suas próprias tecnologias e interfaces de comunicação, que estabelecem as primitivas de comunicação que lhe são intrínsecas. O TCP/IP providencia serviços de comunicação entre as interfaces de comunicação dessas redes e outras aplicações.

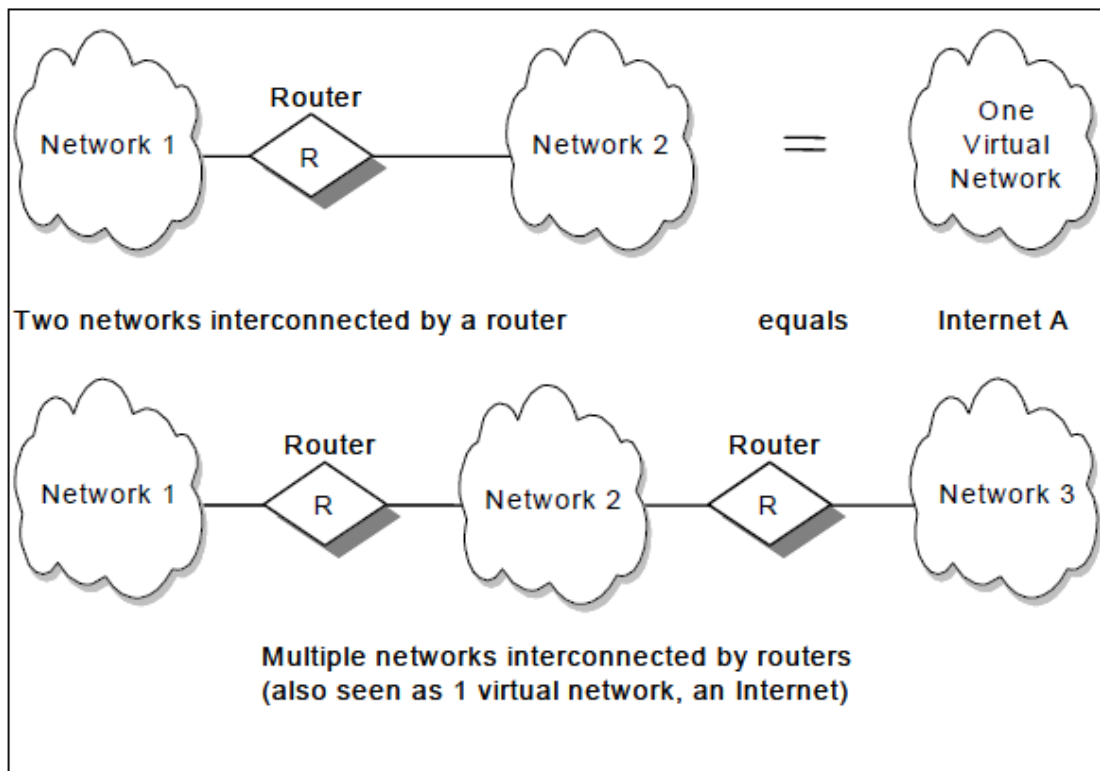


Figura 21 - dois conjuntos de redes interligadas [46]

A comunicação entre duas redes, na lógica deste protocolo – e no contexto da Internet – exige a presença de um dispositivo – um *router* – que tem como objectivo direccionar e enviar pacotes de dados de uma rede para a outra.

A cada elemento dentro desta rede interligada de duas redes é associado um número – designado por endereço IP (*IP address*), que, no caso de dispositivos com diversas -interfaces de rede – como é o caso de um *router* - é fixo. O endereço IP é uma conjugação de dois números, um referente à rede e outro referente ao próprio dispositivo em questão. O primeiro identifica a rede dentro da própria Internet e permanece único dentro desta, sendo que o segundo é providenciado pelo serviço de internet que gere a rede em questão.

Estrutura do Modelo TCP/IP

O modelo TCP/IP é constituído por quatro camadas, como se ilustra na figura 22. À semelhança do que acontece no modelo OSI, as camadas do modelo TCP/IP providenciam serviços para as camadas imediatamente acima, e usam serviços que são disponibilizados pelas camadas imediatamente abaixo. A tabela abaixo representa o modelo TCP/IP e as suas camadas, comparadas com o modelo OSI (de 7 camadas).

Comparing The OSI Model And TCP / IP Architecture.

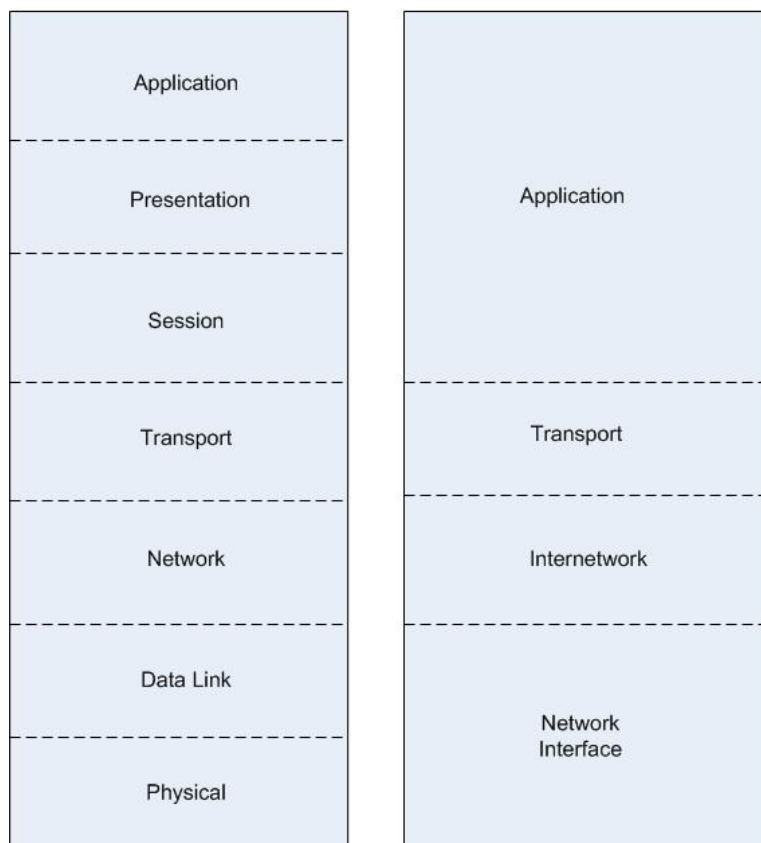


Figura 22 - Comparação entre os modelos OSI e TCP/IP [47]

As camadas de abstracção do modelo TCP/IP são:

- a **camada Física** (*Network interface*) – de acordo com o modelo OSI, acumula as funções das camadas Data Link(2) e Física(1) – que especifica os procedimentos

para a transmissão de informação para a rede, incluindo a especificação de como aceder ao meio físico, como Ethernet, RS232, USB, etc.

- a **camada de Rede** (*internetwork*) – que coincide com a camada de rede(3) definida pelo modelo OSI – cujos protocolos são responsáveis pelo endereçamento e a transmissão dos pacotes de dados (*Internet protocol*, ICMP – *internet control message protocol* – para a gestão de erros, etc)

- a **camada de transporte**, - compreendendo as camadas 4 e 5 do OSI - que gere os aspectos da comunicação ligados ao iniciação da sessão, controlo de erros, verificação sequencial e a fragmentação e reconfiguração dos pacotes de dados – protocolos TCP e UDP

- a **camada de aplicação** – que funde as funções da camada apresentação e aplicação do modelo OSI – é providenciada pelo programa que usa TCP/IP para a comunicação. Uma aplicação é um processo do utilizador que coopera com outro processo, normalmente localizado noutra dispositivo ou computador. Exemplos de aplicações incluem FTP (*File Transfer Protocol*) e Telnet. A interface entre a camada de aplicação e a camada de transporte é definida por números de portas e *sockets*.

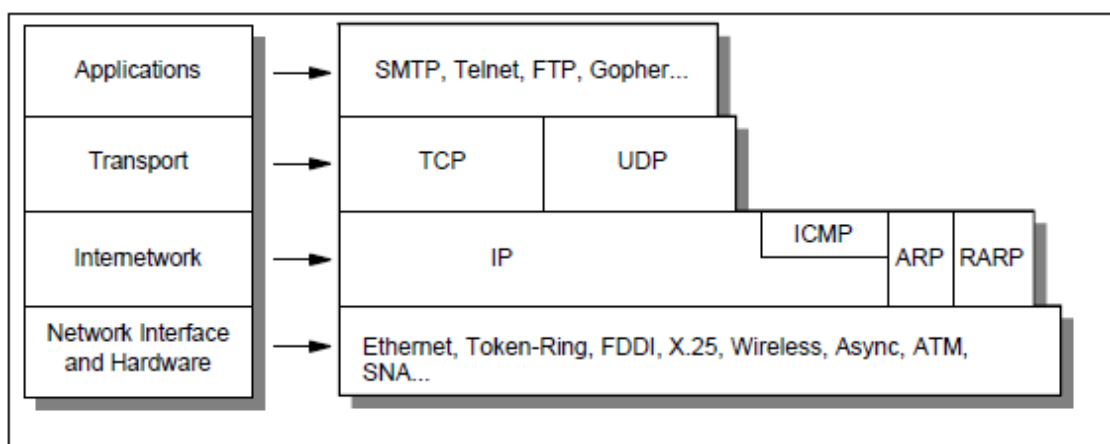


Figura 23 - Protocolos usados nas várias camadas do modelo TCP/IP [46]

Embora designado TCP/IP, este modelo inclui outros protocolos para lá dos que lhe dão nome, para diversos contextos.

Sistema de pacotes de dados TCP/IP

Os pacotes de dados característicos das redes baseadas no protocolo IP, como a internet, são designados pacotes IP, que, para lá da informação – dados e comandos – que contém, têm um tamanho que varia até um máximo de 192 bits, ou 24 bytes. Vários campos, com diversas funções, estão incluídos nesses 192 bits, como o endereço IP de destino do pacote e o endereço IP origem do pacote. Ambos os campos ocupam 32 bits, cada um, que é uma característica da versão IPv4 deste protocolo. Uma versão posterior, IPv6 aumenta substancialmente o tamanho destes campos.

O protocolo IP não impede que problemas na rede resultem em perda de pacotes de dados. É aqui que o protocolo TCP actua, detectando os erros e requerendo a retransmissão dos pacotes perdidos garantindo, mesmo que isso gere atrasos na comunicação dos dados, a eliminação de perdas ou a duplicações de pacotes. O tamanho dos pacotes de dados sobre TCP – isto é, informação que, por se ter perdido, é reenviada – podem ir até 288 bits – 36 Bytes, mais a informação propriamente dita. Na versão IPv6, os pacotes TCP podem chegar aos 512 bits – 64 bytes.

3.2.3 Sockets

Sockets [48] podem ser considerados mecanismos que permitem a comunicação, sobre a pilha de protocolos TCP/IP, entre programas, estejam estes situados no mesmo computador ou em computadores diferentes dispostos numa rede. Cada máquina é identificada, sobre a rede, por um endereço IP, e é, também, caracterizada por disponibilizar um número de portas que permita múltiplas ligações em simultâneo. Dito de outra forma, um *socket* é uma extremidade de uma ligação bidireccional entre dois programas que correm sobre a rede. A lógica de funcionamento do socket é uma lógica de comunicação servidor-cliente.

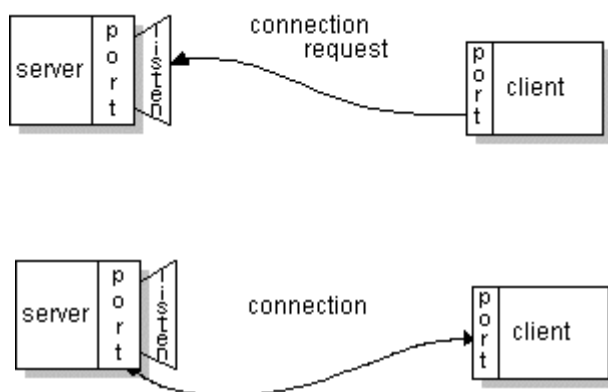


Figura 24 - ligação Socket do tipo Cliente – Servidor [48]

Como está representado na figura 24 as comunicações do tipo *socket* fazem-se entre uma aplicação servidor e uma aplicação cliente. O cliente conhece o endereço IP da aplicação servidor e é quem tem a iniciativa de se ligar a esta última, em determinada porta, que também é do seu conhecimento. A identificação da aplicação cliente é feita pelo próprio sistema, o que significa que o IP identificativo do cliente pode ser dinâmico – isto é, não fixo. É ao servidor que cabe a aceitação da ligação, que, ao verificar-se, estabelece um novo *socket*, desta vez destinado à porta e endereço da aplicação cliente. Este novo *socket* é necessário para que o *socket* inicial esteja disponível para novas ligações ao servidor.

Do lado do cliente, se a ligação for aceite, um *socket* fica criado, podendo ser utilizado pelo cliente para comunicar e enviar dados ao Servidor. Cada ligação TCP pode ser identificada exclusivamente por estas duas extremidades (cliente e servidor), o que permite, assim, a existência de múltiplas ligações entre um determinado dispositivo e um servidor.

3.3 Comunicação bi-direccional e primitivas de comunicação

O conjunto TC65T – computador Servidor – foi estruturado de modo a permitir comunicação bi-direccional. Esta bidireccionalidade é necessária e torna-se exequível, uma vez que a comunicação *socket* permite, com recurso a *threads*, concretizar esta capacidade, como será explicado no capítulo 4

Previamente à descrição das primitivas de comunicação deste sistema, importa referir o conjunto de mensagens (de dados e comandos) que foram idealizados e testados, e que constituem os “veículos” deste fluxo comunicativo bidireccional.

No que diz respeito às mensagens, há que referir a existência de dois contextos, que têm que necessariamente ser diferenciados e compartimentados de modo claro. Esses dois contextos são, simplesmente:

(i) o contexto das mensagens que circulam na rede de sensores, de que fazem parte as *gateways* referidas, e

(ii) o contexto das mensagens que são trocadas, através da ligação *socket*, sobre TCP/IP e através da tecnologia GPRS, entre o módulo TC65T e o computador servidor.

3.3.1 Mensagens da Rede de Sensores

Este projecto, como referido anteriormente, foi desenvolvido em cooperação com a ENEIDA e, por isso, o cenário de redes de sensores é, como explicado, baseado em dispositivos reais desta empresa.

Seguindo a mesma lógica, e uma vez que o trabalho prático em torno do módulo GPRS envolveu, primeiramente, a ligação a uma unidade EWS GR, através de uma

ligação série RS232, também o sistema de mensagens utilizadas para esta e as outras unidades da ENEIDA foi tido como parte integrante do cenário de funcionamento do sistema. Embora a arquitectura do sistema tenha sido pensada no pressuposto da existência de uma rede de sensores sem fios – no caso da instalação temporária – seria interessante descrever uma estrutura de mensagens para a comunicação na banda 433Mhz, mas, uma vez que esta, como os próprios sensores para operar nessa banda, estão ainda em desenvolvimento, optou-se por uma descrição do sistema de mensagens da Eneida para as comunicações CAN e RS232.

Mensagem CAN

Os dispositivos da ENEIDA utilizam estruturas de mensagens / frames CAN com uma componente para o propósito de identificação do tipo *Extended Identifier*, que disponibiliza até 29 bits de tamanho, ao invés do identificador da frame *standard* CAN, de apenas 11 bits. A estruturação da mensagem inclui, então, uma parte do tipo identificador e a mensagem propriamente dita, como representado nas tabelas seguintes:

Função	Não é Usado	Emissor	Destinatário de Comunicação CAN	Destinatário final da mensagem	Dispositivo	Argumento	Nº de ordem	Extra
1 Byte	Restantes Bytes	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes

Tabela 2 - estrutura de campos da mensagem CAN

Todos os campos de informação que compõe a mensagem são gerados na unidade remetente da mensagem CAN. O conjunto de campos incluem uma *função* – que designa o tipo (comando, declaração ou configuração) e objectivo da mensagem – um *emissor* da mensagem e um *destinatário de comunicação CAN*. Estes campos constituem a componente identificador da mensagem, permanecendo os restantes bits dessa componente por utilizar.

Os campos restantes constituem aquilo a que se designa como o corpo da mensagem, e incluem o *destinatário final da mensagem* – valor identificativo da unidade a que se destina, efectivamente, a mensagem – o campo *dispositivo* (a unidade associada à *função*), um *argumento* associado à função e, finalmente, um *nº de ordem* e um campo *extra*. Destes dois últimos campos, o primeiro tem o objectivo de sequenciar a ordem de envio das mensagens, e o segundo é usado para “espaço” adicional de informação.

Mensagem RS232

O formato da mensagem RS232 usado pela ENEIDA é representado, no contexto de uma unidade EWS-GR, pelas tabelas seguintes:

“A”	“T”	Emissor	Destinatário de Comunicação CAN	Destinatário final da mensagem	Dispositivo	Função	Argumento	Nº de ordem	Extra	CRC
1 Byte	Restantes Bytes	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes

Tabela 3 - Estrutura de campos da mensagem RS232 (mensagem proveniente de computador)

“A”	“T”	Emissor	Destinatário Final da mensagem	Dispositivo	Função	Argumento	Nº de ordem	Extra	CRC
1 Byte	Restantes Bytes	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes

Tabela 4 - Estrutura de campos da mensagem RS232 (mensagem que é transmitida da EWS GR para o módulo TC65T)

A primeira tabela descreve o formato de uma mensagem RS232 proveniente de um computador – como é o caso deste sistema – e que entra numa EWS GR, e,

portanto, segue em direcção à rede de sensores e, eventualmente, a um qualquer dispositivo membro dessa rede. A Segunda tabela diz respeito à estrutura de uma mensagem RS232 que provém da rede de sensores, e, portanto, da EWS GR, correspondendo precisamente à estrutura da mensagem de dados que chega ao módulo TC65T.

Do ponto de vista do projecto, as mensagens de dados RS232 adquirem uma importância primordial, uma vez que são estas a chegar ao módulo GPRS vindas da EWS GR.

Campos de dados da mensagem RS232

Os dados que estão incorporados no corpo da mensagem são valores de velocidade num determinado eixo, sendo que cada mensagem é capaz de servir de veículo para valores de velocidade associados a dois eixos. Cada conjunto de dados, isto é, um conjunto de valores de velocidade para os três eixos (x,y,z), é transmitido em duas mensagens, com o mesmo *número de ordem*, sendo que o campo *função* determina, em cada uma delas, quais os eixos monitorizados. Neste formato de transporte de dados da ENEIDA há, assim, uma mensagem que transporta 4 bytes de informação correspondente aos eixos x e y , e outra que transporta 4 bytes de informação referente ao eixo z e, adicionalmente, um valor de temperatura – que pode ser também determinada a partir dos sensores. No caso concreto, a primeira mensagem – de um grupo de duas mensagens com dados para os 3 eixos mais temperatura – é veículo dos dados para os eixos x e y (no campo *argumentos* e *extra*, respectivamente), sendo a segunda mensagem veículo dos dados para o eixo z e temperatura T (também nos campos *argumentos* e *extra*, respectivamente).

3.3.2 Mensagens sobre a ligação Socket

O módulo TC65T serve de *gateway* permitindo a transmissão dos dados ou comandos entre a rede de sensores e o Sistema módulo-Servidor e os *thin* ou *thick clients* sobre a internet. Não funciona, contudo, como uma *gateway* transparente, isto é, não se limita a reproduzir a mensagem recebida, proveniente da rede de sensores (oriunda de um qualquer sensor dessa rede) e a retransmiti-la, inalterada – mantendo exactamente o mesmo número de *bytes* – através da ligação *socket*.

Redimensionamento da mensagem de dados original RS232

A tecnologia de comunicação GPRS providencia velocidades de transmissão de dados até 170 kbit/s (valor teórico, na prática verificando-se uma “performance” inferior, mais próxima de metade desse valor – para o módulo TC65T estão referenciados 86kbit/s), correspondendo a 21250 *bytes* ou, na prática, metade desse valor em *bytes* por segundo. No cenário de implementação de um sistema desta natureza, isto é, com mensagens de dados da rede de sensores com tamanho de *frame* até 14 *bytes*, com comunicação através de GPRS, tem-se uma capacidade de transmissão de mensagens na ordem das 700 por segundo. O processo de geração do pacote de dados por via dos protocolos TCP/IP repercute-se, adicionalmente, numa diminuição do valor limite da taxa de transferência de informação (os pacotes IP e TCP, para a versão IPv4, podem atingir 24 e 36 bytes respectivamente, a que seriam somados os 14 bytes da mensagem de dados).

Apesar destas limitações, o cenário de utilização de capacidades mais elevadas de transmissão de dados faz-se durante o “*upload*” de muitas centenas ou mesmo milhares de dados gerados pelos sensores durante um período muito reduzido de tempo (alguns segundos). Este cenário terá utilidade se a rede de sensores em perspectiva não tiver sensores eles próprios capazes de determinar FFT’s desses dados – visando a determinação do espectro das frequências – e, conseqüentemente, houver necessidade

de o computador/Servidor implementar, ele próprio, um algoritmo FFT sobre esses dados. Mesmo neste cenário, no entanto, e tendo em conta que o período de monitorização é muito reduzido, todos os dados que eventualmente “cheguem” ao módulo TC65T – nesta configuração de retransmissão automática que foi implementada – são eventualmente retransmitidos, independentemente do processo poder vir a durar mais alguns segundos. É a vantagem de sustentar a transmissão de dados sobre a pilha de protocolos TCP/IP, que limita substancialmente a possibilidade de se perder informação. Por conseguinte, os dados estarão disponíveis para processamento FFT para análise espectral da vibração, que é, assim, efectuado no computador.

Apesar desta ressalva, entendeu-se necessário minimizar o tamanho da mensagem de dados transmitida, sobre GPRS, para o computador Servidor, dadas as capacidades de processamento e também de programação, por via da plataforma JAVA, do módulo TC65T.

Mensagens sobre a Ligação socket

Estando explicada a razão para a reformulação – redimensionamento – da mensagem de dados no contexto da ligação *socket*, podemos considerar quatro tipos de mensagens no fluxo comunicativo do Sistema Módulo TC65T – computador servidor:

i) - Mensagem de dados – no sentido módulo – servidor, cujas características estão representadas na tabela 5.

Tamanho da *frame*: 8 bytes

Emissor	Função	Argumento	Nº de ordem	Extra
1 Byte	1 Byte	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes

Tabela 5 - Campos da mensagem de dados

Cada campo da mensagem tem o mesmo significado já descrito para a mensagem de dados RS232. Os campos eliminados não constituem informação útil para carregar na base de dados e representar através da página *Web*, ou, de resto, para todo o sistema de troca de mensagens que foi implementado.

Esta mensagem é enviada na forma de um *array* de *bytes* e é nesse formato que é recebida pela aplicação servidor.

ii)- Mensagem de comando – no sentido servidor – módulo. Estas mensagens destinam-se a alterar o funcionamento dos sensores, e, para tal, baseiam-se na tabela de funções de comandos para os seus dispositivos ENEIDA. A mensagem de comando é gerada no servidor *Web*, como se explicará mais adequadamente no capítulo 4.

iii) Mensagem de re-parametrização – no sentido servidor – módulo. Permitem a re-parametrização do funcionamento do módulo TC65T através de comandos AT. A sua utilização não será muito frequente, pelo que o modo de envio e estrutura deve ser o mais simples possível. Posto isto, o que se projectou como melhor solução consiste no envio de uma mensagem com formato *string*, com uso dos métodos padrão disponíveis na biblioteca de JAVA para comunicações com troca de dados por *socket*, neste caso especificamente para *strings*. A utilização deste formato de envio implica o envio de mensagens com um tamanho substancialmente superior às mensagens de dados, uma vez que o recurso a estas mensagens é pontual, fazê-lo não constitui problema operacional para a comunicação corrente.

iv) Mensagem de re-parametrização – no sentido servidor – módulo. Permitem a re-parametrização de algumas características da comunicação, nomeadamente o IP e DNS (*Domain Name System*) e também características da mensagem de dados (tamanho global, quais os bytes da mensagem proveniente da rede de sensores que são ou não aproveitados, etc). A utilidade destas mensagens está associada à estruturação da programação do MIDlet, com o objectivo de permitir alguma capacidade de fácil re-parametrização das primitivas da comunicação, com o intuito de conferir ao módulo facilidade de integração com redes de sensores de características diferentes, isto é, com sensores e estruturas de *frames* de mensagens diferentes. É enviada, à semelhança das mensagens de parametrização AT, com o

formato *string* e fazendo uso dos métodos de envio e recepção de dados disponíveis na bibliotecas utilizadas para a comunicação *socket*.

4 SOFTWARE DA SOLUÇÃO – ESTRUTURA E FERRAMENTAS DE APOIO

4.1 Aplicação cliente – módulo TC65T

A aplicação é programada no módulo TC65T com base nos serviços disponibilizados pelo IDE *Netbeans*. A configuração base de funcionamento do módulo tem que ser feita através de comandos *AT* (*AT* é a designação corrente de uma sintaxe de comandos introduzida no final dos anos setenta, destinados a padronizar a troca de informação com *Modems*, sob a denominação comum de modems *Hayes*, e que a maioria dos modems existentes ainda implementa). Foi através de comandos *AT*, portanto, que se configurou o módulo TC65T, de modo a que automatizasse a iniciação – *autostart* – da aplicação MIDlet introduzida, trinta segundos após a iniciação do módulo.

Dentro dos programas disponibilizados pela Siemens, para a este módulo TC65T, importa referir o MES (*Module Exchange Suite* [49]), por permitir o acesso ao sistema de ficheiros na memória *flash* através de uma ligação série RS232, sem necessidade de recorrer a recompilação e “*download*” do código através do IDE *Netbeans*.

4.1.1 Estrutura de classes

A aplicação MIDlet foi constituída por 6 classes, (classes, em java, são grupos de métodos e variáveis) sendo a principal designada *SensorWireless*, outras duas, *PingServer* e *WebReader*, funcionam como *Threads*, e as restantes três – *SerialPort*, *FileConfig* e *LogFile* – compreendem métodos variados que disponibilizam serviços específicos, invocados ao longo do funcionamento da aplicação. Uma *thread* [50] que é lançada por uma aplicação, no contexto da programação em JAVA, diz respeito a uma classe que corresponde a uma acção – uma actividade – que, quando executada,

funciona em simultâneo com a aplicação. São as *threads* que facilitam, por exemplo, a leitura e escrita, em simultâneo, sobre a comunicação *socket*. Além destas 6 classes, estão associados dois ficheiros à aplicação: *configuration.dat* e *logfile.txt*. O primeiro ficheiro inclui parâmetros que determinam o funcionamento da ligação GPRS e *socket*, e parâmetros que dizem respeito ao sistema de mensagens utilizado. É este ficheiro que é possível alterar por iniciativa do cliente utilizador, através de mensagens de parametrização, enviadas do computador Servidor para o módulo TC65T. A classe *FileConfig* é constituída por métodos que permitem escrever e ler sobre este ficheiro *configuration.dat*, munindo a aplicação de capacidade para a alteração dos seus próprios parâmetros de funcionamento, sem a obrigação de recompilação do código.

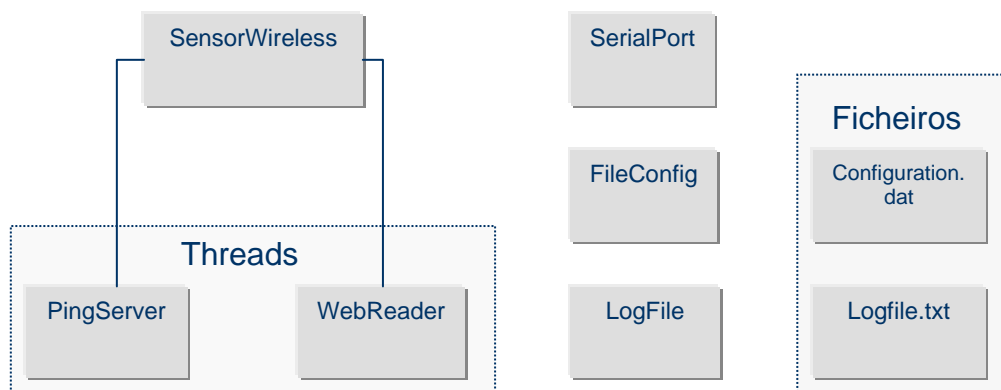


Figura 25 - Diagrama de classes da aplicação cliente – MIDlet.

4.1.2 Descrição do funcionamento da aplicação

Uma vez ligado (Power-on), o módulo executa o ficheiro .jar que existe na *flash*, de acordo com a configuração de funcionamento programada.

O MIDlet abre e lê o ficheiro *configuration.dat*, retirando deste os parâmetros necessários para a ligação *socket*. Caso falhe, estão pré-determinados parâmetros de ligação no próprio código do MIDlet, que são assim invocados.

O MIDlet inicia um pedido de ligação *socket* com um endereço IP e nº de porta característicos da aplicação servidor alojada no computador servidor, que estão registados no *configuration.dat*. Esta tentativa de ligação, no caso de não se concretizar, é repetida cinco vezes.

Uma vez estabelecida a ligação *socket*, a aplicação servidor concretiza ela própria uma ligação *socket* com o módulo, para permitir bidireccionalidade na comunicação, que é automaticamente aceite pelo módulo.

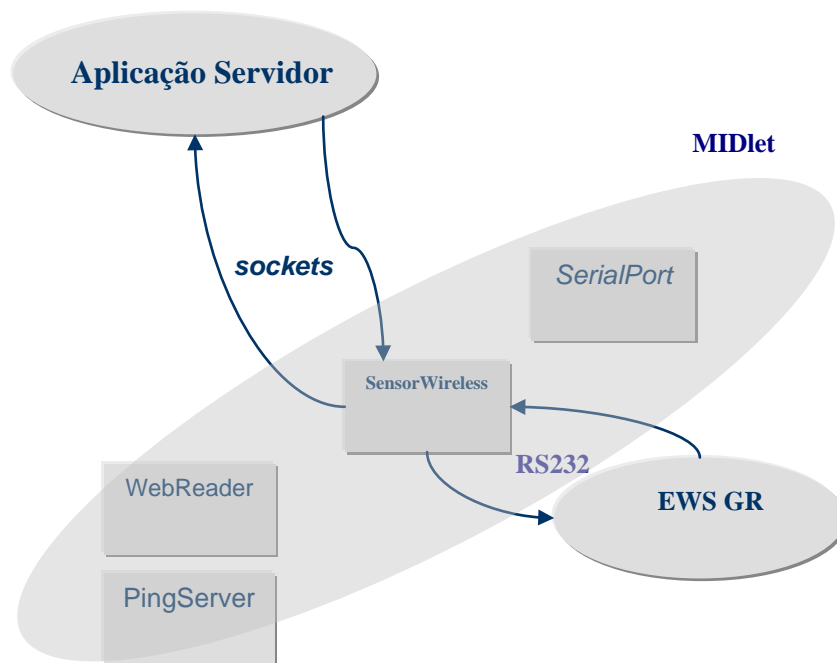


Figura 26 - representação simplificada dos fluxos de comunicação entre a aplicação Servidor, a aplicação cliente e a unidade EWS GR.

Uma vez estabelecida a ligação, duas *threads* são lançadas pela aplicação, com os nomes *PingServer* e *WebReader*. A primeira tem como objectivo estabelecer um envio de mensagem de manutenção da ligação, de 30 em 30 segundos, para impedir a actuação de *timeouts* de gestão de energia do próprio módulo, e característicos da própria ligação padrão sobre TCP/IP. A *thread WebReader* tem como função ler o fluxo

de informação proveniente do servidor, e, para cada tipo de mensagem referido, é esta classe que executa os métodos adequados a cada uma delas. No caso das mensagens de Dados, os métodos da classe *SerialPort* permitem a comunicação por RS232, e tratam do envio, byte a byte, da mensagem sobre a porta Série.

A classe principal *SensorWireless*, utilizando os métodos de leitura da classe *SerialPort*, lê constantemente a porta série e, uma vez recebido o primeiro byte de uma mensagem de dados RS232 – que corresponde a um “A” – o método *readSerie* (da classe *SerialPort*) é implementado. Este método tem a função de ler todos os bytes seguintes da mensagem, escolher os campos adequados e formar a mensagem de dados do Sistema módulo-servidor, sobre um *array* de bytes. A mensagem é, automaticamente, enviada pelo *socket* para o servidor.

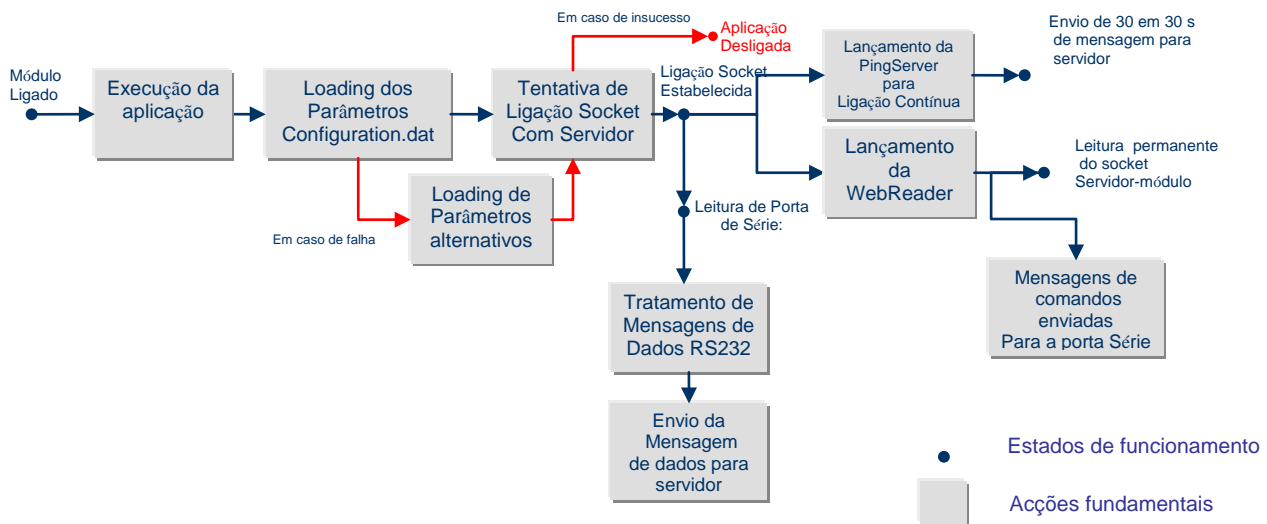


Figura 27 - Representação do funcionamento da aplicação MIDlet.

4.2 Computador Servidor – unidade Central

O computador servidor engloba três servidores de natureza e funções diferentes, já descritas. Faz-se, por isso, uma descrição, por servidor, do funcionamento deste sistema de três servidores, começando pela estrutura de classes da aplicação-servidor JAVA, e, posteriormente, pelos servidores Base de Dados e *Web*, integrando tudo numa explicação da comunicação global deste sistema ao nível do computador servidor.

4.2.1 Aplicação Servidor

4.2.1.1 Estrutura da aplicação Servidor

A aplicação-servidor é constituída por quatro classes, uma das quais é considerada a classe principal, com o nome *Servidor*. Um pouco à semelhança do que acontece no MIDlet, a aplicação lança uma *thread* com o objectivo ou função, neste caso, de enviar mensagens do computador-servidor para o módulo TC65T – caso se tratem de mensagens de re-parametrização do funcionamento deste – ou para a rede de sensores – mensagens de comandos no formato utilizado pela ENEIDA.

As classes restantes, *DataBaseConn* e *TrataDados* servem o propósito de modularização do código, e tratam, respectivamente, da ligação à base de dados e consequente registo das mensagens e do tratamento das mensagens de dados provenientes dos sensores. Esta última classe *TrataDados* é, pode dizer-se, uma classe do tipo utilitário, tendo como *input* a mensagem chegada ao Servidor e como *output* uma variável do tipo *array* de inteiros, cujos dados serão, posteriormente, introduzidos na base de dados.

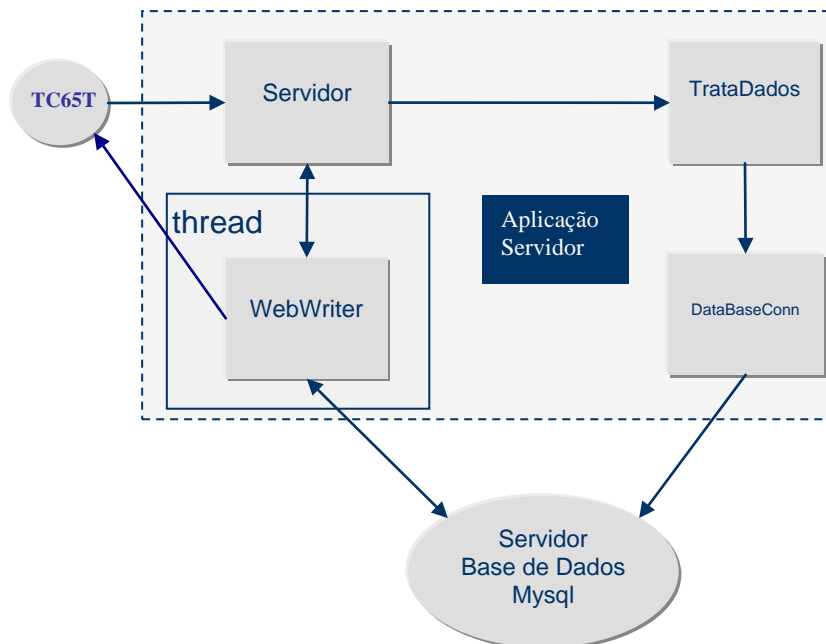


Figura 28 - representação da estrutura de classes da aplicação Servidor, e fluxo de informação.

A configuração de funcionamento da aplicação *Servidor* – idealizada e implementada – assenta num período de funcionamento quasi-permanente, ou, pelo menos, com capacidade para concretizá-lo: a aplicação está programada para estar sempre à espera de ligações provenientes de clientes como o módulo TC65T. A implementação e o contexto de testes tratou o cenário de apenas um sistema de monitorização com apenas um módulo a requisitar uma ligação ao servidor. É, todavia, facilmente implementável a capacidade de receber múltiplas ligações, em simultâneo, de múltiplas origens, como o TC65T. Basta, para isso que, para cada ligação simultânea, seja lançada uma *thread* específica.

4.2.1.2 Descrição do funcionamento da aplicação Servidor

O estado fundamental de funcionamento da aplicação *Servidor* é de “à espera de pedidos de ligação” ou concretização de *sockets*, por parte de clientes como o módulo TC65T.

Uma vez feito o pedido, a ligação é aceite e, como estipulado para comunicações *socket* (cliente – servidor), um novo *socket* é requisitado pela aplicação servidor ao cliente.

Estabelecida a ligação do tipo *socket*, a aplicação lança a *Thread WebWriter*, que tem duas funções fundamentais: ler a tabela *mensagens* da base de dados criada – cuja estrutura é descrita abaixo – em busca de mensagens registadas como não enviadas – tanto mensagens de comando destinadas à rede de sensores, como mensagens de reparametrização do funcionamento do módulo GPRS. As mensagens não pendentes são, assim, enviadas, e passam a estar registadas como “enviadas” na tabela *mensagens* da base de dados.

A aplicação, em simultâneo com a actividade da *thread WebWriter*, fica à espera – ou em modo de recepção – de mensagens provenientes do módulo TC65T. Uma vez recebidas – a aplicação espera mensagens com as características (tamanho, array de bytes) das mensagens de dados estabelecidas para a comunicação módulo-servidor –, as mensagens são tratadas através da classe *TrataDados*, do tipo utilitário. Esta ferramenta implementa várias transformações sobre a mensagem de dados recebida, nomeadamente permite a transformação dos pares de bytes (16 bits) que constituem os campos *argumentos* e *extra* (os dados de velocidade para os eixos *x,y,z*, assim como a temperatura) e também o campo *nº de ordem* nos valores numéricos correspondentes, e portanto, a transformação do *array* de 8 bytes num *array* de 5 inteiros.

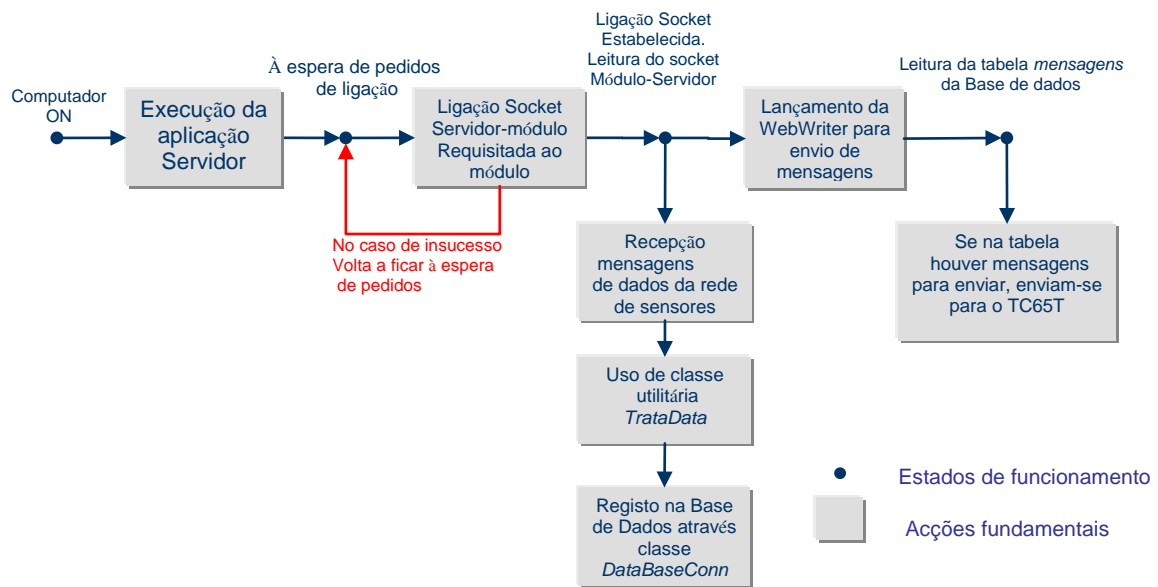


Figura 29 - Representação do funcionamento da aplicação Servidor

A comunicação com a base de dados e consequente registo dos dados é feita através da classe *DataBaseConn*, por meio de comandos SQL.

4.2.2 Servidor Base de dados

4.2.2.1 Estrutura da base de Dados

A base de dados foi construída, como dito anteriormente, tendo como ferramenta base o sistema de gestão de base de dados *Mysql*. A estrutura da base de dados – com nome *Sensor* – está representada na seguinte figura:

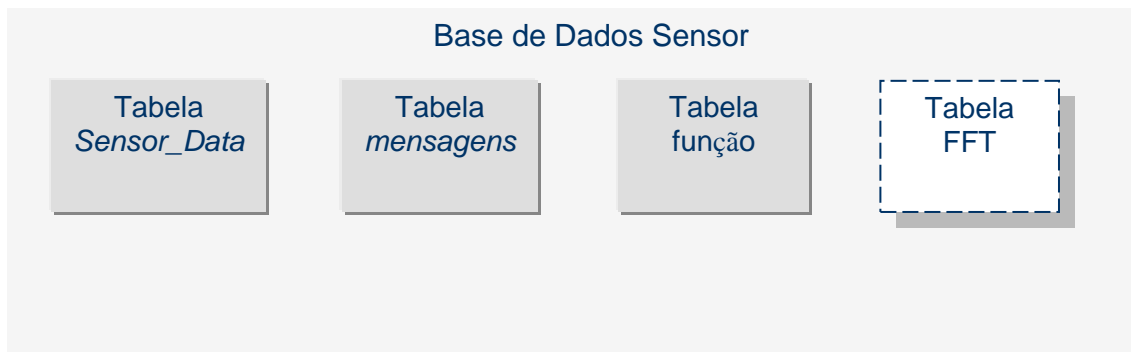


Figura 30 - Estrutura da base de dados

A base de dados é, portanto, constituída por 4 tabelas, das quais 3 foram efectivamente desenvolvidas e implementadas; não se tendo desenvolvido a tabela com nome *FFT*, está, contudo, projectado o seu uso e integração na base de dados e no sistema, como se explicará posteriormente.

Tabela *Sensor_Data*

A tabela *Sensor_Data* corresponde à tabela onde os vários dados das mensagens de dados provenientes do módulo TC65T são inseridos. É constituída por oito colunas, 6 das quais correspondem aos dados provenientes das mensagens:

- ID do sensor,

- velocidade em x,

- velocidade em y,

- velocidade em z,

- a temperatura (apenas como dado adicional, sem interesse para o objectivo de monitorização de vibração)

- n° de ordem.

As duas colunas restantes são a coluna ID – que serve para aceder de modo simplificado a cada linha dessa coluna, associando-a a um valor numérico – e o tempo de chegada da mensagem ao servidor. Os tipos de dados – *data types* - utilizados são os adequados às grandezas das variáveis,

ID	ID do sensor	Vx	Vy	Vz	T	Nº de ordem	Tempo de chegada

Tabela 6 - Colunas da tabela Sensor_Data.

Tabelas mensagens e funções

As tabelas *mensagens* e *função* estão associadas ao envio de mensagens de comando e reparametrização destinadas à rede de sensores e ao próprio módulo TC65T. O pedido de envio de mensagens faz-se da parte do utilizador cliente, quando interage com a página Web e faz uso dos serviços disponibilizados pelo Servidor Web que a sustenta.

O seu pedido – através de um pedido de escrita na tabela *mensagens* através de um comando SQL – é efectuada pelo Servidor Web: o servidor Web, a pedido do cliente que insta o servidor de base de dados a registar/copiar a mensagem (a enviar do Servidor para o módulo ou a rede de Sensores) na tabela *mensagens* na base de dados.

A mensagem propriamente dita é formatada como *string*, através do programa em PHP (e HTML) desenvolvido para dar origem à página Web, e esse processo de construção exige igualmente um pedido de dados às tabelas *Sensor_Data* e *funções*. Todo este processo de construção e envio das mensagens de comando e de reparametrização será representado e explicado de modo mais clarificador, após a descrição da estrutura de todas as tabelas e do próprio servidor Web.

A tabela *mensagens* é constituída por três colunas:

- ID,

- mensagem, que é registada nesta tabela por ordem do servidor *Web*, após pedido de envio por parte do utilizador cliente desse servidor *Web*

- Estado, que indica numa lógica binária – estado 1 ou estado 0 – se a mensagem foi ou não foi ainda enviada pela *thread WebWriter* da aplicação Servidor.

ID	Mensagem	Estado

Tabela 7 - Colunas da tabela mensagens

A tabela *funções* é constituída por três colunas: a habitual coluna ID, a coluna *Funções* e a coluna *Descrição das Funções*. Estas funções correspondem às funções associadas ao sistema de mensagens utilizado pelos dispositivos da rede de sensores de monitorização, que, no caso, é o sistema de mensagens da ENEIDA. Esta coluna corresponde, portanto, à lista de funções existentes, que a ENEIDA implementa na programação dos seus dispositivos - desde funções destinadas a comandos de reinício de funcionamento, de reparametrização da taxa de aquisição como dezenas de outras, para total flexibilidade.

ID	Funções	Descrição das Funções

Tabela 8 - Colunas da tabela funções

Tabela FFT

A tabela *FFT* destina-se a servir de receptáculo dos dados gerados pela implementação de um algoritmo *FFT* sobre os dados da tabela *Sensor_Data*. O algoritmo *FFT* teria que ser programado através de uma aplicação *JAVA* – por exemplo – executada de modo paralelo a todo este sistema de comunicações. Esta aplicação poderia ser desencadeada a pedido do utilizador-cliente do servidor *Web*, durante o acesso à página *Web*, e uma vez executada, a aplicação correria o algoritmo sobre um *input* (tabela *Sensor_Data*) e produziria um *output* na forma de valores de velocidade nos eixos *x,y*, e *z* sobre o espectro de frequências. Estes seriam os dados/colunas que seriam introduzidas sobre uma tabela *FFT*.

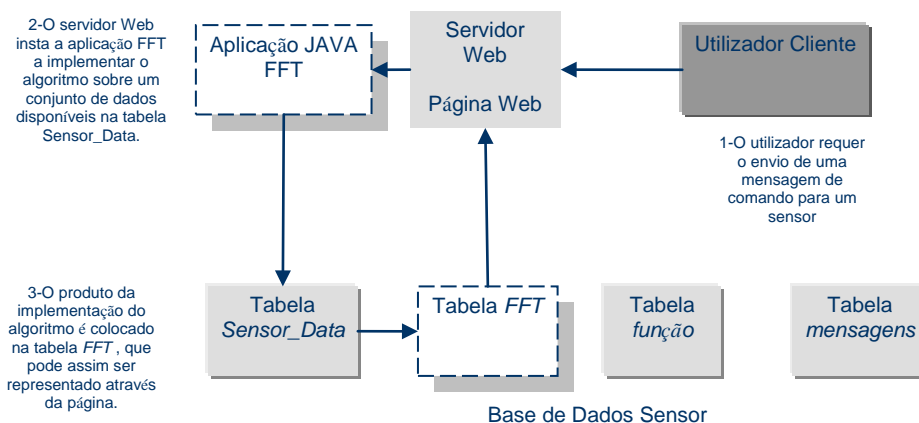
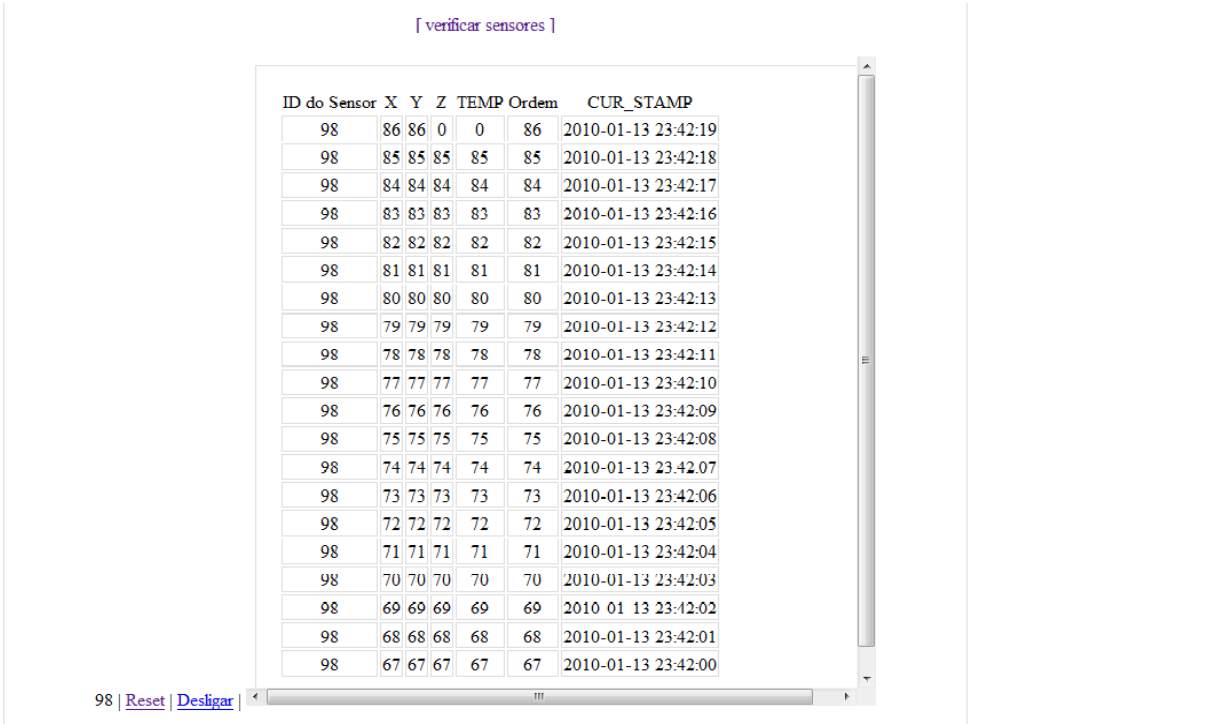


Figura 31 - Estrutura de tabelas da base de dados, incluindo tabela FFT, com fluxo de informação

A escolha de não concretizar – e apenas projectar – a introdução de uma aplicação em *JAVA* que se destinasse a implementar um algoritmo *FFT* deveu-se, somente, ao entendimento de que esta aplicação seria um acrescento ao sistema de comunicações desenvolvido, e que este permitiria a sua integração – foi desenhado com esse objectivo – com facilidade e eficiência. Uma representação da integração de uma aplicação *FFT* no contexto do sistema pode observar-se na Figura 31.

4.2.3 Servidor Web

Como explicado, o servidor *Web Apache* suporta páginas *Web* que podem ser acessadas através de um *Web Browser*, por qualquer utilizador-cliente que use um *Web Device* sobre a Internet. A página construída destina-se, antes de mais, a testar as capacidades fundamentais do sistema, para efeitos de comprovação e não como esteticamente apelativa, como se pode verificar pela Figura 32.



[verificar sensores]

ID do Sensor	X	Y	Z	TEMP	Ordem	CUR_STAMP
98	86	86	0	0	86	2010-01-13 23:42:19
98	85	85	85	85	85	2010-01-13 23:42:18
98	84	84	84	84	84	2010-01-13 23:42:17
98	83	83	83	83	83	2010-01-13 23:42:16
98	82	82	82	82	82	2010-01-13 23:42:15
98	81	81	81	81	81	2010-01-13 23:42:14
98	80	80	80	80	80	2010-01-13 23:42:13
98	79	79	79	79	79	2010-01-13 23:42:12
98	78	78	78	78	78	2010-01-13 23:42:11
98	77	77	77	77	77	2010-01-13 23:42:10
98	76	76	76	76	76	2010-01-13 23:42:09
98	75	75	75	75	75	2010-01-13 23:42:08
98	74	74	74	74	74	2010-01-13 23:42:07
98	73	73	73	73	73	2010-01-13 23:42:06
98	72	72	72	72	72	2010-01-13 23:42:05
98	71	71	71	71	71	2010-01-13 23:42:04
98	70	70	70	70	70	2010-01-13 23:42:03
98	69	69	69	69	69	2010 01 13 23:42:02
98	68	68	68	68	68	2010-01-13 23:42:01
98	67	67	67	67	67	2010-01-13 23:42:00

98 | [Reset](#) | [Desligar](#)

Figura 32 - Página Web, com representação de dados gerados pelo Sensor 98, e funções disponíveis para essa unidade.

Funções fundamentais

A página é gerada por dois ficheiros, *index.php* e *realtime.php* escritos principalmente em PHP e HTML. O ficheiro principal, *index.php* é que implementa as funções fundamentais da página, nomeadamente:

- representação dos dados na tabela *Sensor_Data* da base de dados *Sensor*, cuja leitura é realizada através de comandos SQL.

- identificação e representação dos sensores em funcionamento através da verificação dos dados disponíveis na base de dados. Esta função é activada durante a instalação dos sensores e o início organizado da monitorização. O utilizador pode solicitar a lista de sensores disponíveis e em funcionamento através da página. O servidor Web comunica por comandos SQL com o servidor *MySql* e retira os ID dos sensores dos quais estão a ser enviadas mensagens de dados, representando-os na página *Web*, como é visível na Figura 32.

- Disponibilização de comandos que podem ser enviados para cada sensor identificado. Os comandos disponíveis são tantos quantas as funções disponíveis na tabela *Funções* na base de dados. O cliente, ao carregar na mensagem de comando pretendida, desencadeia a criação de uma mensagem de comando com as características de uma mensagem RS232 de 15 bytes – é o tipo de mensagens RS232 que a gateway EWS GR está à espera de receber de computador. A mensagem é gerada e registada, por comandos SQL, na tabela *mensagens*, juntamente com um ID associado e com estado 1 (não enviado). Como explicado anteriormente, a *thread WebWriter* da aplicação Servidor, que está a ler constantemente a tabela *mensagens*, identifica e envia a mensagem em questão para o módulo. Este, através da porta série RS232, retransmite-a para a EWS GR ou outra gateway, que fará assim o reencaminhamento da mensagem para o sensor ou sensores em questão.

4.2.4 Sistema de três Servidores

Explicou-se, até agora, o funcionamento de cada componente de sistema de três servidores e o modo como se efectua e concretiza a comunicação entre todos eles, de modo a permitir tanto o registo de informação na base de dados e representação na página *Web*, como o envio de mensagens de comando e parametrização no sentido servidor-módulo.

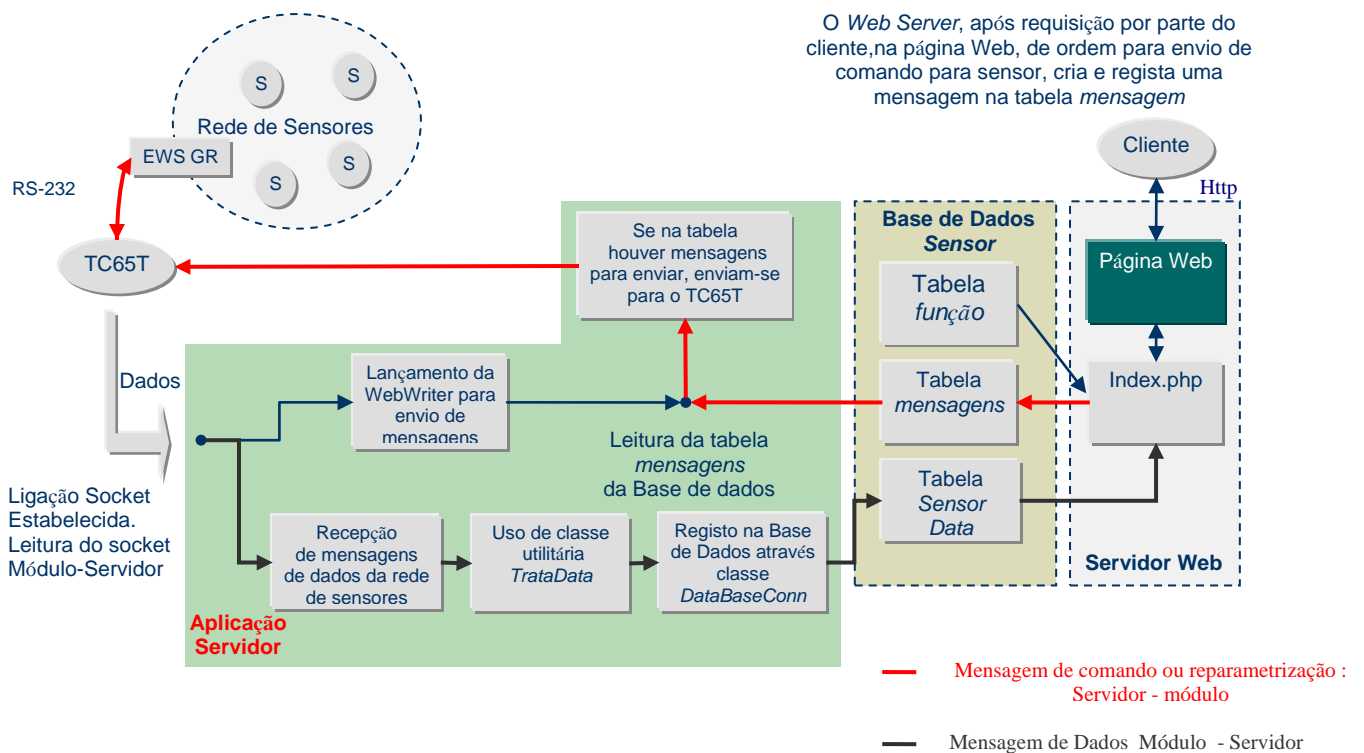


Figura 33 - Os três servidores integrados

A figura 33 corresponde a uma tentativa de representação dessa bidireccionalidade da comunicação, tentando, simultaneamente, representar uma integração entre as componentes mais importantes e, também, os estados de funcionamento de todo o sistema, a nível do computador Servidor. Na Figura 33, as setas carregadas a vermelho correspondem ao trajecto de uma mensagem de comando

cujo envio foi solicitado pelo utilizador-cliente, durante o acesso à página *Web*. As setas carregadas a cinzento escuro representam o trajecto de uma mensagem de dados até ser introduzida na base de dados.

4.2.5 Acesso à informação

O acesso aos dados gerados pela rede de sensores concretiza-se, como explicado, através da interface homem-máquina do Sistema global, que é a página *Web*. Os dados, neste contexto, são tabelas de valores de velocidade para os eixos *x*, *y* e *z*, identificação dos sensores que produzem esses dados, sem esquecer a análise no espectro das frequências, que corresponde, também, a tabelas de valores de amplitude de vibração e frequência. O acesso à informação, numa primeira fase, faz-se pela representação dos dados que a própria página produz, acedendo à tabela *Sensor_Data* da base de dados – neste caso, apenas os dados de velocidade sobre os três eixos, mas, uma vez existindo e funcionando a aplicação *FFT* ou outra qualquer aplicação ou algoritmo que se pretenda implementar sobre os dados que o Servidor recebe, a representação dos seus resultados será trivial. Esta representação permite uma análise preliminar sobre os dados da monitorização, que se entende ser útil durante o posicionamento dos sensores e na instalação do sistema. No caso, por exemplo, da implementação do algoritmo *FFT*, é possível programar a página para permitir uma representação gráfica da análise espectral para cada eixo. No entanto, e como explicado na introdução, é verosímil pensar que cada organização que explore um sistema desta natureza, para elaborar um relatório de fiscalização de vibrações, tenha estratégias e critérios próprios de estruturação e representação dos dados, pelo que uma representação “*padrão*”, não será suficiente. Por conseguinte, todos os dados disponíveis podem ser alvo de “*download*” na forma de um ficheiro editável, a pedido de um utilizador-cliente, para os seus portáteis ou computadores em geral – não apenas *thin clients*, portanto – onde, através das ferramentas mais comuns como processadores de texto e folha de cálculo podem ser devidamente tratados e integrados em relatórios, de acordo com as especificidades pretendidas. O programa em PHP, que gere a página *Web*, permite esta funcionalidade, ligando-se, novamente por SQL, à base de dados e disponibilizando a informação que aí houver, ou aquela que se pretender, em ficheiros de arquivo do tipo CSV – *comma*

separated values – que se destinam precisamente ao arquivamento de dados dispostos em tabelas, como acontece nas bases de dados - esta capacidade está visível na figura 33. Este formato é compatível com a generalidade do software, em particular com aquele aqui utilizado.

[\[verificar sensores \]](#) [\[exportar CSV \]](#)

ID do Sensor	X	Y	Z	TEMP	Ordem	CUR_STAMP
62	0	0	0	87	87	2010-02-03 00:39:29
62	0	0	0	86	86	2010-02-03 00:39:28
62	0	0	0	85	85	2010-02-03 00:39:27
62	0	0	0	84	84	2010-02-03 00:39:26

Figura 34 - Página com a capacidade de exportação de ficheiro CSV, com os dados da tabela *Sensor_Data*, e, também, com a capacidade verificar quais os sensores que estão a enviar dados para a Unidade Central.

4.3 Descrição do modo de exploração do sistema

Uma perspectiva de exploração típica deste sistema descreve-se pelos seguintes passos: na instalação, os sensores são colocados nos locais adequados, e activam-se, iniciando automaticamente a monitorização e transmissão para o módulo GPRS. O módulo, mal receba dados, envia mensagens para o servidor que acumula esses dados numa base de dados, e que os representa numa página Web.

Esta página *Web* é acedida pelo técnico que instala os sensores, através de um dispositivo Web – um portátil, *netbook* ou telemóvel com tecnologia de acesso à internet baseada em GPRS, UMTS ou qualquer outra tecnologia de acesso à internet móvel – e, uma vez que a base de dados não só acumula a informação como organiza e representa a informação o técnico pode confirmar o funcionamento dos sensores e ordenar acções, como reiniciar a monitorização. Um técnico situado na sede da empresa que está a operar o sistema, e que aloja o servidor, pode consultar localmente (ou em qualquer outro lugar) a representação da informação.

5 CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO

5.1 Orçamento para um sistema de monitorização

5.1.1 Tarifários

Vários prestadores de serviços de Internet e telemóvel oferecem uma panóplia de tarifários de Internet para telemóvel ou dispositivos como o TC65T, cuja adequação depende da natureza da solicitação do sistema de monitorização. O formato dos tarifários, tipicamente, caracteriza-se por um volume de tráfego máximo para um período específico de tempo, a que está associado a cobrança de um valor. No caso de haver ultrapassagem do volume de tráfego máximo contratado dentro do período de tempo especificado, há um agravamento do tarifário. Para os prestadores de serviços Vodafone e TMN, os tarifários para Internet em telemóvel são, essencialmente iguais, como se pode ver nas seguintes tabelas:

Tarifários TMN	IT light	IT standard	IT super	IT super plus	IT diário
Preço	€ 5/mês	€ 7,62/mês	€ 10/mês	€ 15/mês	€ 0,999/dia
Tráfego Máximo	75 MB	150 MB	250 MB	500 MB	15 MB

Tabela 9 - tarifários TMN [51]

Tarifários Vodafone	Aditivo Internet 75	Aditivo Internet 250	Aditivo Internet 500	Tarifa Diária
Preço	€ 5/mês	€ 10/mês	€ 15/mês	€ 1,00/dia
Tráfego máximo	75 MB	250 MB	500 MB	10 MB

Tabela 10 - tarifários Vodafone [52]

A Optimus apresenta tarifários com cobrança semanal, para o mesmo tipo de serviços, como se vê pela tabela seguinte:

Tarifários Optimus	Internet Diário	Internet Já	Internet Smart	Internet Power
Preço	€0,99/dia	€ 1,25/semana	€ 2,50/semana	€ 5/semana
Tráfego máximo	10 MB	25 MB semana	75 MB semana	250MB semana

Tabela 11 - tarifários Optimus [53]

A escolha dos tarifários dependerá da previsão do número de ações de monitorização e das suas durações. Para medições de alguns segundos, e se considerarmos apenas um sistema com um módulo GPRS, os cenários descritos podem incluir até vários segundos de monitorizações para determinação do espectro de frequências, com medições e envios de dados na ordem das centenas ou poucos milhares de pontos. Para efeitos de análise de viabilidade de tarifários, se se considerarem períodos de monitorização de 2 segundos, com 2000 medições durante esse período, e, portanto, 4000 mensagens enviadas por sensor (até sete sensores) – por exemplo, no caso de monitorização de explosões para expansão de galerias de metropolitanos ou minas, perspectivam-se envios de até 28000 mensagens por monitorização, sobre GPRS. Com o encapsulamento em pacotes IP, esse número de mensagens pode ascender a valores totais próximos do Megabyte. Mesmo que se proceda a várias monitorizações diárias ao longo de um mês inteiro, todos os dias, os valores de consumo previstos para um sistema de monitorização caem dentro dos tarifários de 250 a 500 MB mensais, com custos na ordem dos 5 a 15€ mensais.

5.1.2 Orçamento para um caso de aplicação

Se se tiver em conta um sistema com sete sensores, seja no contexto de uma instalação permanente (portanto, cablada, com sensores EWS TA3T-c), seja no contexto de uma instalação temporária (com sensores sem fios EWSTA3T-r), é necessário

adicionar aos sensores uma ou mais *gateways* para lá da EWS GR e do próprio Módulo TC65T.

Tendo sempre em consideração a possibilidade de outras combinações de unidades, para cenários de aplicação diferentes, apresenta-se uma estimativa de orçamento para um sistema base de sete sensores, duas *gateways* e o módulo TC65T, baseado na tabela de preços de unidades fornecida pela ENEIDA, estando representados adicionalmente outras unidades, para comparação.

Unidade	Quantidade	Preço unitário	Preço total
EWS TA3T-c	7	440,00€	3.080€
EWS G433M	1	420,00€	420€
EWS TA3T-r		450,00€	
EWS G2G4		465,00€	
EWS GR	1	285,00€	285,00€
Módulo TC65T(ref)	1	265,00€	265,00€
TOTAL	9		4,0050,00€

Tabela 12 - Orçamento para 7 sensores, uma gateway EWS GR, uma gateway EWS G433M e um módulo TC65T. [54]

Unidades como a EWS RCAN ou um sensor que comunique na banda dos 433Mhz, ambos em desenvolvimento na ENEIDA, não têm preços definidos, mas encontrar-se-ão, provavelmente, na gama dos 300€ aos 500€ a unidade. Para sete sensores EWS TA3T-c ou EWS-TA3T-r (para *ZigBee*, mas que serve de exemplo comparativo para o valor de um sensor que comunique na banda 433Mhz), complementados por uma EWS GR e uma EWS G433M, e ainda um módulo TC65T, obtemos um valor combinado em torno dos 4000€por sistema.

5.2 Portabilidade

A concepção de um sistema desta natureza tem que ter em conta critérios que garantam não só a sua fácil instalação, mas também o seu transporte. À semelhança de outros sistemas desta natureza, e uma vez que todas as unidades têm pesos e dimensões reduzidos, a perspectiva de se utilizar uma mala é a que melhor se configura como solução para facilitar a portabilidade. Deve, evidentemente, possuir dimensões que se adequem ao armazenamento condicionado de até 7 sensores, 2 ou 3 gateways (EWS G433M, EWS GR, EWS RCAN, este último para instalações cabladas e permanentes) e um módulo TC65T além de espaço para uma bateria, caso se entenda necessário, com características que se discutem no capítulo seguinte. Um exemplo de mala que se adequa a estas características está referenciado em [55].

5.3 Consumo energético de um sistema

Como explicado anteriormente, o cenário mais comum de implementação de um sistema de monitorização desta natureza terá lugar em ambientes com acesso fácil à tensão de sector, visto que a monitorização é realizada em edificações localizadas nas imediações de locais onde se desenvolve actividade de construção. Consequentemente, considera-se muito pouco provável a necessidade de recorrer a alimentação auxiliar para este sistema, na forma de uma bateria. A acontecer, todavia, só teria lógica no cenário de implementação temporária, com recurso a sensores sem fios – eles próprios alimentados com bateria própria. Neste cenário, o conjunto constituído pelas Gateways EWS GR, a G433M e o módulo TC65T, necessitariam de alimentação a partir de uma bateria. Para uma estimativa de consumo energético de todo o sistema – e, por conseguinte, procurando também prever que bateria melhor se adequaria às exigências energéticas deste – representam-se, na tabela seguinte, os valores típicos dos consumos instantâneos para as várias unidades.

Unidades	Consumo (mA) para 12 V Modo Ligado	Consumo em Potência(W) Modo ligado	Consumo (mA) para 12 V Modo de Transmissão	Consumo em Potência Modo transmissão
EWS GR	28	0,34	28	0,34
EWS G433M	28	0,34	40	0,48
EWS G2G4	28	0,34	40	0,48
EWS TA3T-c	30	0,36	28	0,34
TC65T	29	0,35	330	3,96

Tabela 13 - Consumos das várias unidades ENEIDA e módulo TC65T

É importante sublinhar que as unidades que, de facto, vale a pena analisar, do ponto de vista do consumo energético, são as *gateways* e o módulo GPRS, uma vez que os sensores sem fios, numa instalação temporária têm as suas próprias baterias, que

podem ser carregadas através da mala em qualquer ocasião em que esteja disponível a tensão de sector. No cenário permanente, com sensores cablados, não tem manifestamente lógica pensar em soluções de alimentação que não a tensão de sector.

Relativamente à tabela, e para clarificação, convém explicar que os dados foram fornecidos pela ENEIDA. É importante também referir que no caso da unidade EWS TA3T-c, o aumento de consumo que está normalmente associado à transmissão de dados – como no caso das unidades que comunicam também por rádio frequência – não se verifica, o que é justificável pelo baixo consumo da transmissão por CAN. Independentemente disto, como dito, uma vez que este tipo de unidade só teria lógica numa instalação permanente e cablada, não tem tanto interesse fazer o seu estudo de consumo no cenário de operação que, para exemplo, se utilizará.

Cenário exemplo

Como explicado na Introdução, são vários os cenários de implementação de um sistema de monitorização de vibrações desta natureza, como decorre da análise da legislação portuguesa e internacional relativamente a vibrações geradas em sítios de construção e, igualmente em [1]. Do ponto de vista do consumo energético, interessa fundamentalmente o cenário mais exigente, isto é, aquele em que o período de funcionamento permanente seja maior. Uma vez que as solicitações associadas a explosões são muito curtas e requerem períodos de medição muito reduzidos (habitualmente 0,5 s), serão casos de aplicação em que se pretenda a monitorização de outras acções, envolvendo a utilização de máquinas perfuradoras e/ou martelos pneumáticos, que levarão a períodos de monitorização mais demorados. Outras aplicações com vista à produção de relatórios de risco globais – como focado em [1] – para a aferição das consequências da actividade de construção sobre um edifício nas imediações desta, poderão exigir períodos mais demorados de monitorização global e ininterrupta. Por isso, e embora seja razoável para um evento específico – uma solicitação específica – prever a duração de monitorização necessária, ou adequada, o cálculo para os cenários descritos tem um carácter mais aproximado.

Tendo em conta esta miríade de cenários, principalmente aqueles que compreenderão períodos de monitorização superiores a alguns segundos ou minutos, o cenário que optámos para a análise do consumo energético corresponde ao seguinte:

- um período de funcionamento do sistema, que inclui instalação e monitorização, de uma hora, 4 vezes por dia, durante uma semana de 5 dias. O nosso objectivo é determinar a capacidade necessária de uma bateria, sem se efectuar carregamentos, para um período de funcionamento de 20 horas.

O cenário de operação escolhido, para efeitos de análise, é exagerado e razoavelmente improvável, mas permite, conseqüentemente, determinar as exigências operacionais de consumo do sistema por excesso.

Cálculo do consumo

A janela de comunicação para as unidades de radiofrequência em questão (EWS G433M e os sensores 433Mhz) é tipicamente de 200 ms, considerando-se que os sensores transmitem uma vez por minuto. Isto é, durante 200 ms (0,2 s) em cada minuto, durante uma hora, a unidade sensor vai transmitir mensagens para a gateway G433M. Na ausência de um protocolo de comunicação 433Mhz que permita a sincronização da transmissão do sensor e a recepção por parte da G433M, esta gateway prevê-se como permanentemente em modo de recepção (40mA). Considera-se, igualmente, o consumo de 28 mA constante, durante o período de tempo perspectivado, para a EWS GR, pelas mesmas razões. O módulo TC65T, para o exemplo, considera-se, também, constantemente ligado e fazendo uso da comunicação GPRS – até porque a própria instalação das unidades no local da monitorização exige o uso da comunicação *socket* com o computador (unidade central) –, que corresponde a um consumo permanente de 330 mA.

Na tabela seguinte, figura a capacidade típica que uma bateria capaz de alimentar as 3 unidades fundamentais durante uma hora.

Unidade	Capacidade da bateria para alimentar a unidade, por hora (ma.h) (12V)
EWS GR	28
EWS G433M	40
TC65T	330
Capacidade Total da bateria para alimentar as 3 unidades, por hora (mA.h)(12V)	398

Tabela 14 - Capacidade mínima de Bateria para alimentar várias unidades, por hora.

Uma vez que se pretende uma bateria para alimentar este sistema de três unidades, durante 20 horas, numa semana, sem carregamento intercalar, a capacidade uma bateria de 12V terá que ser 20 vezes superior a 398 mA.h, ou seja, 7,96A.h. Se considerarmos um rendimento da bateria de 90%, a capacidade necessária sobe para 8,8 A.h. Para esta gama de capacidades, e tendo em conta a tensão de 12 V, há inúmeras soluções comercializadas (9A.h) que incluem baterias do tipo chumbo-ácido, necessariamente pesadas (5 a 10 kg) mas relativamente baratas (poucas dezenas de euros) ou, por exemplo, de lítio, que são consideravelmente mais leves (1 ou 2 kg), embora muito caras (várias dezenas a 200€[56]). A tensão de 12 Volt, uma vez que a gama de tensões de alimentação do TC65T vai dos 8 aos 30V, e, para as unidades EWS GR e EWS G433M corresponde a 9 – 24V, parece-nos adequada.

Tenha-se em conta que se o carregamento da bateria for feito diariamente – para o mesmo cenário exagerado de 4 horas diárias de funcionamento ininterrupto –, a capacidade exigida corresponderia a um quinto da estimada de 9A.h, para a mesma tensão de 12V. Por outro lado, é possível reformular a lógica de funcionamento permanente – ou de ligação GPRS permanente – do módulo TC65T, estabelecendo que a concretização de ligações faz-se apenas quando um conjunto de dados é acumulado no módulo, embora tal solução não tenha sido experimentada. Nessa solução, a ligação permaneceria activa apenas durante a transmissão dos dados. No entanto, se durante um período de não transmissão de dados, um cliente-utilizador quisesse, através da página, enviar comandos para os sensores e para o módulo, não seria facilmente exequível, por

iniciativa do computador-Servidor, estabelecer uma ligação *socket*, uma vez que um endereço IP fixo de destino seria necessário. Mas, em teoria, seria possível reduzir por essa via o consumo do TC65T, e, portanto, do sistema no global.

5.4 Descrição dos testes

Devido ao pequeno número de unidades dispensáveis para testes a realizar no contexto deste projecto, foram realizadas poucas experiências com sensores. No sentido de testar o mais possível a aplicação – até durante o próprio desenvolvimento do código das aplicações – utilizou-se uma EWS GR reprogramada, que simulava o envio de mensagens de dados provenientes de sensores, enviando-os por RS-232 para o módulo TC65T. O envio de dados da EWS GR para o módulo, e posteriormente para o Servidor, foi, assim, extensivamente testado com o objectivo de encontrar defeitos e problemas nas soluções pensadas.



Figura 35 - EWS GR sem “encapsulamento”, usada para testes.

Foram testadas também várias taxas de transmissão de dados (mensagens enviadas pela EWS GR, por segundo), principalmente com o objectivo de avaliar o atraso resultante, de taxas de transmissão mais elevadas, na comunicação GPRS.

Nº de mensagens enviadas por segundo	10	50	150
Intervalo de tempo entre envio das mensagens do TC65T e escrita na base de dados (segundos)	1	4	10

Tabela 15 - testes desenvolvidos para diversas taxas de transmissão de mensagens

Estes testes foram realizados através de programas auxiliares – desenvolvidos para o efeito – para simular o envio de mensagens da rede de sensores para o Módulo GPRS. Neste contexto, a aplicação MIDlet estava programada para enviar automaticamente – sobre GPRS e para o Servidor – qualquer mensagem recebida pelo TC65T, através da porta série. Os tempos registados não se traduzem em qualquer limitação operacional, uma vez que, mesmo para taxas de monitorização muito elevadas, se verificam períodos de atraso na ordem das poucas dezenas de segundo.

Foi, também, verificada a capacidade de envio de mensagens de comando do Servidor para os Sensores. Foram detectados problemas com a programação da comunicação sobre a porta-série RS232, embora a recepção de dados, por parte do modem, tenha sido facilmente concretizada. Optou-se pela manutenção de uma ligação sem controlo de fluxo – não disponível na EWS GR – através do cabo RS232, e a reprogramação do módulo TC65T – com o intuito de eliminar o uso simultâneo da porta série RS232 para o envio e recepção de mensagens entre a rede de sensores e o módulo, e outros serviços que a unidade associava automaticamente à porta. Estas soluções permitiram o funcionamento em pleno da comunicação bidireccional, sobre o módulo.

Para levar a cabo a maior parte dos testes, usou-se, quando disponível, um sensor TA3T-c, numa rede constituída por esta unidade, uma EWS-GR (ligadas por CAN) e o módulo TC65T.



Figura 36 - Módulo TC65T Cinterion, o sensor EWS TA3T-c, e a gateway EWS GR, com os primeiros dois ligados por CAN, e os últimos dois por RS232.

Os Servidores *Web apache* e a base de dados *Mysql* foram integrados com sucesso com a aplicação *Servidor*, e a representação dos dados de cada mensagem recebida foi, também, extensivamente testada e com resultados positivos.

Embora não tenha sido suficientemente testado o envio de mensagens do servidor para um sensor real – nem havia essa necessidade – a capacidade para um

utilizador cliente, através da página Web, solicitar o envio de comandos – mensagens de comando – para estes, foi comprovada.

6 CONCLUSÃO

O objectivo deste trabalho consistiu em desenvolver uma parte de um sistema global de monitorização de vibrações, com a função fundamental de colocar uma rede LAN de sensores de vibrações na Internet, permitindo, através de uma página *Web*, a representação de dados gerados na monitorização. Adicionalmente, o sistema devia permitir comunicação bi-direccional, isto é, deve ser possível a um cliente-utilizador, através da página *Web*, requerer acções ou enviar comandos para um ou mais sensores da rede.

Estes propósitos estabelecidos foram concretizados, isto é, desenvolveu-se e implementou-se uma arquitectura global centrada no módulo TC65T e num computador-servidor (unidade central), que sustenta comunicação bi-direccional e que, adicionalmente, trata e representa a informação gerada pelos sensores. Estas funções foram realizadas com recurso a uma ferramenta de gestão de base de dados, para o desenvolvimento de uma base de dados que serviu os propósitos de armazenamento e disponibilização selectiva e programada da informação. Foi necessário, além da base de dados, desenvolver também aplicações para o módulo e para o computador-servidor, que permitiram estabelecer *sockets* de comunicação – na lógica cliente-servidor.

Os testes desenvolvidos não permitiram testar todos os aspectos do sistema de comunicação, mas permitiram observar o funcionamento conjunto de um sistema composto por um sensor, uma *gateway* EWS GR e um módulo TC65T. Não foram efectuados testes com um número maior de sensores, o que permitiria aproximar o cenário de testes da realidade operacional do campo, mas recorreu-se a uma *gateway* EWS GR com *software* alterado de modo a “simular” um sensor.

Do ponto de vista do desenvolvimento futuro, considero interessante o estudo de uma tecnologia de comunicação por pacotes de dados para dispositivos móveis mais “musculada”, como é o caso das tecnologias de 3ª e 3,5ª geração (UMTS, HSPA e HSDPA). Por outro lado, a evolução das tecnologias de comunicação caminha a passos rápidos e o desenvolvimento de *Web Sensors* – sensores que seriam eles próprios

dispositivos *Web*, ligados directamente à Internet sem *gateways* intermediárias – será, num caminho a trilhar, uma realidade que poderá ser aplicável para um sistema de monitorização remota de vibrações.

Do ponto de vista pessoal, apraz-me dizer apenas que muitas das tecnologias envolvidas no projecto – principalmente a linguagem e as plataformas JAVA, a comunicação *socket* sobre GPRS, a ferramenta *Mysql* para a gestão e criação da base de dados e o servidor *Web*, que se configuraram como nucleares neste trabalho – nunca fizeram parte da minha formação durante a Licenciatura e Mestrado. Essa foi, aliás, uma das razões para ter escolhido este projecto. Uma vez que tive oportunidade de não só desenvolver mas testar essas tecnologias combinadas considero muito positiva – e agradável – esta minha experiência de fim de curso.

REFERÊNCIAS

- [1] LONGO, Simone e DINIS DA GAMA, Carlos, *Análise dos riscos inerentes às vibrações transmitidas às estruturas*: Instituto Superior Técnico, 2007.
- [2] NP 2074 (1983). *Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa. Norma Portuguesa.
- [3] ATEX 95, 94/9/EC, *Equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres*, Jornal das comunidades europeias, 1994. Directiva Europeia.
- [4] IEC 60079, *Explosive atmospheres*, International Electrotechnical Commission, 2007. Norma internacional para equipamentos eléctricos.
- [5] *Vibrations Caused by Construction Activity*
Chief Building Official and Executive Director, Toronto Building, Toronto, Canada, 2007. Relatório técnico para a Câmara Municipal de Toronto.
- [6] BS 7385/ 1993, *Evaluation and measurement for vibration in buildings. Guide for measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings*, 1990. Norma Britânica.
- [7] DIN 4150, *Structural vibration (Erschuetterungen im Bauwesen)*: Deutsches Institut Fur Normung E.V., 1999 Norma alemã relativa a vibrações em estruturas.
- [8] *Guidelines for the Treatment of Noise and Vibration in National Road Schemes*: National Roads Authority (NRA), 2004. Recomendação técnica irlandesa.
- [9] EPA IPPC Environmental Protection Agency - Integrated Pollution Prevention Control – **Environmental Protection Agency (Licensing) Regulations 1994 S.I. No 85**, 1994. Normas Irlandesas para licenciamento de estruturas fabris e agrícolas.
- [10] Constantine, Friedman & Goldberg, LLP, *MEMS Accelerometers*. Apresentação. Imagem usada. Link: <http://www.coe.uncc.edu/>.
- [11] DataSheet do MSP430F2410, Texas Instruments, 2010. link: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f2410.pdf>.
- [12] DataSheet do XScale PXA271, Intel, 2004. Link: <http://www.intel.com/design/embeddedpca/applicationsprocessors/302302.htm>.
- [13] DataSheet do EWS TA3Tc, Eneida, 2009. link: http://www.eneida.pt/images/stories/produtos/TA3T_c/TAT3-c_final.pdf.
- [14] DataSheet do EWS G433M, Eneida, 2007. link: <http://www.eneida.pt/images/stories/produtos/G433M/G433M.pdf>.

- [15] DataSheet do RXQ2-433, Telecontrolli, 2009. link: <http://www.telecontrolli.com/pdf/transceivers/RXQ2.pdf>.
- [16] DataSheet da Artic GPRS gateway, Viola Systems, 2008, link: http://www.violasystems.com/customerfiles/marketing/Arctic_GPRS_and_EDGE_Gateway.pdf.
- [17] ISO 7498, *Information processing systems - Open Systems Interconnection - Basic Reference Mode*, International Organization for Standardization, 1994. link: <http://www.iso.org/>.
- [18] CAN CIA, *Controller Area Network(CAN), an overview*. link: www.can-cia.org.
- [19] ISO 11898, *Road vehicles – Controller area network(CAN)*, International Organization for Standardization, 2003. link: <http://www.iso.org/>.
- [20] MANNISTO, Daniel e DAWSON, Mark, *An Overview of Controller Area Network (CAN) Technology*, Machine Bus Corporation, 2003. Relatório técnico.
- [21] CAN CIA 103, *CiA Work Draft Proposal 103, CANopen: Intrinsically safe*, CAN in Automation, 2006.
- [22] ISM Band, *Radio Regulations*, ITU-R – Radiocommunication Sector, International Telecommunication Union.
- [23] ETSI EN 300 220, *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW*, V2.1.1, European Standard Telecommunications series, 2006, link: http://docbox.etsi.org/ERM/Open/ERM%20TG34/en_30022002v020101p.pdf.
- [24] IEEE Std.802.15.4, *IEEE standard for wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LRWPANs)*, 2006.
- [25] NEWCOMER, Eric, *Understanding Web Services: XML, WSDL, SOAP and UDDI*, capítulo *Introducing Web Services*, 2002. Imagem Utilizada.
- [26] IEEE Std.802.11, *IEEE standard for wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) especificaton*, 1997.
- [27] GHRIBI, Brahim ,LOGRIPPO, Luigi, *Understanding GPRS: The GSM packet Radio Service*, School of Information Technology and Engineering, Universidade de Ottawa, Canada.
- [28] BETTSTETTER,Christian, VOGEL, Hans-Jorg, EBERSPACHER, Jorg ,*GSM Phase 2 + General Packet Radio Service GPRS: Architecture, Protocols, and Air Interface*, Technische Universität München, IEEE, 1999.

- [29] LAWTON, George, *Machine-to-Machine Technology Gears Up for Growth*, IEEE Computer Society Press, 2004. Imagem utilizada.
- [30] DataSheet do MR2002-CE Civil Engineering System, Syscom, 2006. link: <http://www.syscom.ch/pdf/mr2002cedatasheet-en.pdf>
- [31] DataSheet do EWS TA3Tr, Eneida, 2009, link: http://www.eneida.pt/images/stories/produtos/TA3T_r/TA3T_r.pdf.
- [32] DataSheet do tranceptor SN65HVD230, Texas Instruments, 2009. link: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/sn65hvd230.pdf>.
- [33] DataSheet do controlador CAN MCP2515, Microship, 2007. link: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21801e.pdf>.
- [34] DataSheet da EWS GR232, Eneida, 2007. link: http://www.eneida.pt/images/stories/produtos/GR232_485_USB/GUSB_232_485.pdf.
- [35] DataSheet da TC65T, Cinterion Wireless Modules (anteriormente, Siemens), 2008. link: http://www.cinterion.com/tl_files/cinterion/downloads/tc65t_intranet_291002.pdf.
- [36] DataSheet do processador ARM7, ARM, 2010. link: http://www.national.com/vcm/NSC_Content/Files/en_US/Signalpath/national_sp_designer120.pdf.
- [37] Cinterion Wireless Modules. link: <http://www.cinterion.com/tc65t.html>. Imagem utilizada.
- [38] Java Sun. link: <http://java.sun.com>. Plataformas Java utilizadas.
- [39] Netbeans. link: <http://netbeans.org>. Software IDE(*Integrated Development Environment*).
- [40] Java Platform, Micro Edition (JAVA ME), Java Sun, link: <http://java.sun.com/javame/index.jsp>. Imagem utilizada.
- [41] *Software* de gestão de base de dados Mysql. Sun Microsystems. link: <http://www.mysql.com/about/>.
- [42] *Software* phpMyAdmin. link: http://www.phpmyadmin.net/home_page/index.php.
- [43] Apache Http Server, link: <http://httpd.apache.org/>.
- [44] YAN, Dan, *General Packet Radio Service (GPRS) for wireless Internet solution*, McMaster University, 2001. link: <http://hygelac.cas.mcmaster.ca/courses/SE-4C03-01/papers/Yan-GPRS.html>. Imagem retirada.
- [45] RFC 793, *Transmission Control Protocol (TCP/IP)*, Defense Advanced Research Projects Agency, 1981, link: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc793.html>. RFC(request for comment) original para TCP.

[46] PARZIALE, Lydia, BRITT, David T., *TCP/IP Tutorial and Technical Overview*, International Technical Support Organization, IBM, 2006.

[47] Comparação entre modelo OSI e modelo TCP/IP. link: <http://www.thebryantadvantage.com/OSI%20TCPIP%20Model%20Mapping%20CCNA%20Certification%20Tutorial.htm>. Imagem utilizada.

[48] Java Sun, *The Java Tutorials. Lesson: All about sockets*. link: <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/networking/sockets/>.

[49] *Java User's Guide*, v12, Siemens AG, 2008. Documentação técnica TC65T.

[50] Java Sun, *Java Class thread*, 2003, link: <http://java.sun.com/j2se/1.4.2/docs/api/java/lang/Thread.html>.

[51] TMN, tarifários para serviços de internet e telemóvel. link: <http://www.tmn.pt/portal/site/tmn/menuitem.de21baa5d0875ba241a377107368e84b/?vgnextoid=ed8a4d0a2c95b110VgnVCM1000005401650aRCRD&vgnextchannel=e297a791bdf6010VgnVCM1000005401650aRCRD&vgnextfmt=default7>.

[52] Vodafone, tarifários para serviços de internet e telemóvel. link: http://www.vodafone.pt/main/Particulares/Internetmovel/Tarifarios/Aditivos_internet.htm.

[53] Optimus, tarifários para serviços de internet e telemóvel. link: <http://www.optimus.pt/Particulares/Movel/Servicos/Internetnotelemovel/Tarifario>.

[54] Mobiledata, preços praticados para TC65T. link: <http://www.mobiledata.com.au/Siemens-TC65.asp>.

[55] Peli, 1400 case, link: <http://www.peli.com/?q=en/cases/total-protection-boxes-small-1400.html>.

[56] Gerbing's, Baterias. Exemplos de baterias 12V, 8mA, lítio. link: <http://www.gerbing.com/Products/batteries.html>.

BIBLIOGRAFIA

ConsultNet Engineering Solutions (link: <http://www.consultnet.ie/>) – Resumo de normas Europeias relativas a limites de vibrações em estruturas:
<http://www.consultnet.ie/environmental%20vibration.htm>.

GOMES, Rui, *Monitorização Remota de Válvulas de Segurança em Gasómetros*, Laboratório de Automação e Instrumentação Industrial, Coimbra, 2007.

CHEE-YEE CHONG, SRIKANTA P. KUMAR, *Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges*, IEEE, VOL. 91, NO. 8, 2003.

HEIDEMANN, John, GOVINDAN, Ramesh, *Embedded Sensor Networks*, IEEE Communication Magazine, 2004.

AKYILDIZ, Ian F., SU, Weilian, SANKARASUBRAMANIAN, Yogesh, CAYIRCI, Erdal, *A survey on Sensor Networks*, IEEE Communication Magazine, 2002.

PUCCINELLI, Daniele e HAENGGI, Martin, *Wireless Sensor Networks: Applications and Challenges of Ubiquitous Sensing*, , IEEE Circuits and Systems Magazine 2005.

MELO FERREIRA, João Carlos, *Redes de sensores inteligentes – sensores que se auto-organizam, Redes de sensores inteligentes para monitorização com aplicação em agricultura de precisão e de alto rendimento*, Laboratório de Automação e Instrumentação Industrial, 2006.

CARDOSO, Jorge, *Programação de Sistemas Distribuídos em Java*, FCA – Editora de Informática, Lda, 2008.

SHIM, J.P. e SHIN Seungjae, Weiss, Martin B.H, *Wireless Internet Competition: Municipal Wireless vs. 3G mobile Service*, IEEE, 2007.

DAI QINGYUN, BAO HONG, LIU YIHONG, LIU ZEXI, ZHOU KE E WANG JIN, *433MHz Wireless Network Technology for Wireless Manufacturing*, *Second International Conference on Future Generation Communication and Networking* Faculty of Information Engineer, Guangdong University of Technology, Guangzhou, 2008.

ISM-Band and Short Range Device Regulatory Compliance Overview, Texas Instruments, 2005. Relatório técnico.

SAFARIC, Stanislav e MALARIC, Kresimir, *ZigBee wireless standard*, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Unska 3, HR-10000 Zagreb, Croatia, 2006.

Internet, World Wide Web Consortium (W3C). Recursos, *standards*. link:
<http://www.w3.org/>.

KARASTOYANOVA, Dimka e BUCHMANN, Alejandro, *Components, Middleware and Web Services*, Proceedings of the "IADIS International Conference WWW/Internet 2003" (ICWI2003), Algarve, Portugal, 2003.

[NOH-SAM PARK, GIL-HAENG LEE, *Agent-based Web Services Middleware*, Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon, Coreia, 2003

MCLLRAITH, Sheila A, TRAN CAO SON, HONGLEI ZENG, *Semantic Web Services*, IEEE Intelligent Systems, 2009.

BAKKEN, David E., *Middleware*, Washington State University

KRISHNA, Arvind S., KLEFSTAD, Ray, SCHMIDT, Douglas C., CORSARO Corsaro, *Real-time CORBA Middleware*, in *Middleware for Communications*, Wiley and Sons, New York, 2003.

SRISATHAPORNPHAT, Chavalit, JAIKAE0, Chaiporn, SHEN, Chien-Chung, *Sensor Information Networking Architecture and Applications*, IEEE Personal Communications, University of Delaware, 2001.