

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

**Plataforma para Sistemas de Monitorização
Pessoais**

Hugo Pontes de Castro

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

Orientador: Eng. Gil Gonçalves
Co-orientador: Eng. Válter Rocha

Julho de 2011

© Hugo Pontes de Castro, 2011

Resumo

Com o desenrolar do tempo, tem-se vindo a verificar um envelhecimento acentuado da população, sobretudo nos países desenvolvidos. Este facto tem grande relevância na área da saúde, uma vez que a esperança média de vida tem vindo a aumentar fazendo com que ocorra um aumento generalizado da população idosa. Estes dois factos são determinantes para se perceber que é, e será ainda mais necessário no futuro investir em cuidados de saúde. Outro dado importante no que diz respeito aos cuidados de saúde está relacionado com o facto de haver cada vez mais o recurso aos tratamentos ambulatoriais. Para que estes sejam eficientes torna-se imprescindível uma contínua e eficiente monitorização do paciente. Para tal, novas soluções no campo das Tecnologias da Informação, Comunicação e Eletrónica são desenvolvidas com o objetivo de permitirem a realização de ações médicas à distância.

Outra grande vantagem no desenvolvimento destas tecnologias é a aplicação destas na assistência primária a pequenas comunidades em regiões geográficas distantes dos grandes centros urbanos.

Atualmente, com a miniaturização dos sistemas eletrónicos, é possível ter num mesmo aparelho de dimensões reduzidas a capacidade de aquisição de múltiplos sinais vitais o que aliada à capacidade de comunicação permite uma monitorização contínua de pessoas em situações de risco num ambiente assistido. Este tipo de aparelhos eletrónicos tem vindo a ser aplicado mais frequentemente em hospitais e instituições de saúde com o intuito de trocar informações e dados recolhidos com outras instituições médicas de referência.

Neste projeto é desenvolvido uma plataforma de monitorização pessoal, onde são agregadas várias tecnologias de comunicação sem fios com o intuito desta ser o mais universal e mais fiável possível tanto na aquisição de dados como no envio destes.

Palavras-chave: Plataforma de monitorização pessoal, sinais vitais, tecnologias de comunicação sem fios.

Abstract

From some years ago until our days it has taken place a substantial aging of the population, particularly in developed countries. This fact has great significance in the population's health, since the average life expectancy has increased so that there is an overall increase in the elderly population. These two facts are crucial to understand that it will be critical to invest in health care. Another important fact with regard to health care has to do with the fact that there is more and more use of outpatient treatment. For this kind of treatment to be effective it is essential to have a continuous monitoring of the patient, so new solutions in the field of Information Technologies, Communication and Electronics are developed in order to conduct remote medical actions.

Other great advantage in developing these technologies is the implementation of this in primary care in small communities at the geographic regions far from major urban centers.

Currently, with the shrinking of electronic systems, it is possible to have a single compact unit with the capability to acquire multiple vital signs which combined with the capacity of communication allows continuous monitoring of people at risk in an assisted environment. This type of electronics has been applied most often in hospitals and health institutions with the aim of exchanging information and data collected with other medical institutions.

In this project it's developed a personal monitoring platform, where there are assembled various wireless communication technologies with the aim of this being the most universal and most reliable acquiring and transmitting data.

Keywords: Personal monitoring platform, vital signs, wireless communication technologies.

Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer aos meus orientadores, Eng. Gil Gonçalves e Eng. Válder Rocha, pela disponibilidade, apoio e interesse ao longo do projeto. Agradeço...

À minha família mais próxima, em especial à minha mãe, por me ter dado todas as condições para que eu tivesse sucesso durante a realização do curso.

À Mylene, por todo o amor, apoio e compreensão. Por tornar fácil tudo aquilo que por vezes parecia complicado.

Aos meus amigos de sempre, que estarão sempre a torcer por mim.

Aos colegas e amigos que ganhei e que me acompanharam ao longo desta etapa da minha vida.

Um agradecimento sincero a todos vós...

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xiii
Abreviaturas e Símbolos	xiv
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento geral	1
1.2 - Motivação e objetivos da dissertação	3
1.3 - Projeto desenvolvido	3
1.4 - Clarificação dos termos utilizados na dissertação	5
1.5 - Estrutura da dissertação	5
Capítulo 2	7
Estado da Arte.....	7
2.1 - Introdução.....	7
2.2 - Topologia da rede.....	7
2.3 - Estrutura da PMP	9
2.4 - Protocolo e modos de estabelecer comunicação.....	10
2.5 - Conversão dos sinais.....	12
2.6 - Tecnologias de comunicação sem fios.....	12
2.7 - Características do sistema	15
2.8 - Normas a respeitar pelos dispositivos médicos	21
Capítulo 3	25
Etapas de desenvolvimento e Implementação.....	25
3.1 - Introdução.....	25
3.2 - Descrição do problema.....	26
3.3 - Definição de requisitos e funcionalidades de alto nível	27
3.4 - Solução proposta	28

3.5 - Metodologia seguida na implementação e teste	29
3.6 - Identificação dos principais módulos.....	30
3.7 - Implementação das tecnologias de comunicação	33
3.7.1- Tecnologias de receção de dados	33
3.7.2- Tecnologias de envio de dados	35
3.8 - Desenvolvimento da camada de abstração.....	37
Capítulo 4	40
Teste e resultados	40
4.1 - Introdução.....	40
4.2 - Comunicação PMP- motes Crossbow MTS300.....	40
4.3 - Comunicação com as motes Tmote sky	42
4.4 - Envio de dados por Bluetooth	45
4.5 - Integração da PMP com módulo de aquisição de bio sinais	45
Capítulo 5	47
Conclusões e Futuros Desenvolvimentos.....	47
5.1 - Conclusões	47
5.2 - Dificuldades e futuros desenvolvimentos.....	48
Referências	50

Lista de figuras

Figura 1.1 - Projeto NetCare (INOVAMAIS 2008).....	4
Figura 2.1 - Mapa de toda a rede de monitorização e suas interfaces (Rashvand et al. 2008).	8
Figura 2.2 - Exemplo ilustrativo de uma rede BAN (Monton et al. 2008).	9
Figura 2.3 - Diagrama funcional da unidade de processamento (Zhang and Huang 2009)	10
Figura 2.4 - Diagrama Funcional do dispositivo WIHMD (Kang et al. 2006).	11
Figura 2.5 - Diagrama funcional de aquisição e conversão de bio sinais (Varshney 2008)	12
Figura 2.6 - Relação entre a velocidade de transmissão e área de cobertura das tecnologias sem fios mais comuns (Rashvand et al. 2008).	13
Figura 2.7 - Abstração conceptual da segurança do sistema (Dong et al. 2009).	18
Figura 3.1 - Arquitetura proposta do sistema a desenvolver.....	28
Figura 3.2 - Módulos da arquitetura do sistema de monitorização	30
Figura 3.3 - Single Board Computer utilizado na PMP (SYSTEMS 2011)	32
Figura 3.4 - Interfaces disponíveis na FOX Board (SYSTEMS 2011)	33
Figura 3.5 - Formula para o cálculo do CRC.....	35
Figura 3.6 - Tabela resumo do protocolo desenvolvido para o projeto NetCare	36
Figura 3.7 - Detecção dos pedidos efetuados pela mote Tmote sky alocada à FOX Board.....	36
Figura 3.8 - Rotina de pesquisa de tecnologias de comunicação sem fios disponíveis (Bluetooth a titulo de exemplo)	38
Figura 3.9 - Figura ilustrativa do modo de funcionamento da camada de abstração no momento de escolher uma tecnologia sem fios em detrimento de outra para envio dos dados recolhidos.....	39
Figura 4.1 - Código responsável por imprimir os dados recolhidos num arquivo de texto	41
Figura 4.2 - Visualização gráfica da posição das motes.....	41

Figura 4.3 - Temperatura registada por uma motes.....	42
Figura 4.4 - Visualização da temperatura, através da aplicação CareSense, enviada pela FOX Board	43
Figura 4.5 - Visualização da frequência cardíaca, através da aplicação CareSense, enviada pela FOX Board	43
Figura 4.6 - Visualização da atividade elétrica, através da aplicação CareSense, enviada pela FOX Board	44
Figura 4.7 - Visualização dos dados enviados a partir da FOX Board, em resposta aos pedidos feitos pela mote Tmote sky alocada na FOX Board	44
Figura 4.8 - Sequencia de comandos para envio de arquivos por Bluetooth	45

Lista de tabelas

Tabela 2-1 – Protocolos implementados tendo em atenção a gestão de energia, adaptado de (Varshney and Sneha 2006)	20
Tabela 3-1 – Requisitos funcionais da PMP	27
Tabela 3-2 – Requisitos não funcionais da PMP	28
Tabela 3-3 – Exemplo de trama enviada pelas motes MTS300	34

Abreviaturas e Símbolos

ADC	<i>Analogic to Digital Converter</i>
BAN	Body Area Network
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
OBEX	<i>Object Exchange Protocol</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PDPU	<i>Personal Data Processing Unit</i>
PMP	Plataforma de Monitorização Pessoal
PSU	<i>Personal Sensor Units</i>
PSS	<i>Personal Subscriber Station</i>
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
SCM	<i>Sensor Communication Module</i>
SD	<i>Secure Digital</i>
SFTP	<i>Simple File Transfer Protocol</i>
SRP	<i>Secure Remote Password</i>
SSH	<i>Secure Shell</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>

Capítulo 1

Introdução

O crescente envelhecimento da população e a melhoria contínua de tratamentos de saúde, cada vez mais sofisticados e mais dispendiosos leva a que haja uma preocupação crescente por todas as partes envolvidas: pacientes, profissionais de saúde, seguradoras e governos. Assim sendo é justificado o desenvolvimento de um projeto desta natureza, no qual é possível minimizar custos de determinados tratamentos de saúde que venham a ser necessários. Este projeto é também ele, direcionado para uma futura aplicação em equipas de socorro e resgate quando estas se deparem com ambientes inóspitos e onde é necessário a monitorização dos vários elementos que constituem a equipa.

1.1 - Enquadramento geral

De acordo com um relatório publicado pela Organização Mundial de Saúde em 2004, existiam 3.8 milhões de homens e 3.4 milhões de mulheres em todo o mundo que morreram devido a problemas cardíacos. É possível constatar que esta doença é uma das principais causas de morte em todo o mundo, podendo-se mesmo estar á beira de uma pandemia. Uma das características mais alarmantes é o fato de grande parte dos doentes falecer 28 dias após o primeiro sintoma da doença, o que leva a que haja pouco tempo para executar um plano reativo. Deste modo a prevenção toma um papel muito importante no combate a esta doença (Li 2010).

Uma boa forma de verificar o estado de saúde de um paciente é examinar os vários sinais vitais deste. Se determinado sinal vital apresentar um valor anómalo, isto poderá significar um estado de saúde em declínio.

Outro dado a ter em atenção é o crescente envelhecimento da população mundial, sobretudo nos países desenvolvidos. Com o aumento da população idosa cresce também o

2 Introdução

número de indivíduos com doenças crónicas (Fraile et al. 2010). Nos países em acentuado desenvolvimento, como é o caso da China, os cuidados de saúde podem não estar pela situação geográfica, acessíveis, ou para um grande número da população podem ser economicamente inviáveis.

A forma como é feita a monitorização até à data, em unidades de saúde e com o aumento do número de internamentos nessas mesmas unidades de saúde, leva a um crescente gasto financeiro para todas as partes envolvidas, que não seria de todo necessário caso esta fosse efetuada em ambulatório (Varshney 2008). A hospitalização pode também vir a ser uma experiência desgastante para o paciente, provocando adulteração de resultados obtidos na monitorização, sobretudo quando estamos a tratar de sinais vitais sensíveis a perturbações causadas pelo stress, nomeadamente a tensão arterial e os ciclos de vigila-sono.

Atualmente existem vários equipamentos de monitorização no mercado, mas a qualidade e precisão destes não é comparável aos equipamentos existentes nas unidades de saúde e o preço destes não é possível de ser suportado pela classe mais baixa e mais numerosa da sociedade (Zhang and Huang 2009).

Estes sistemas e equipamentos de monitorização emergentes no mercado podem ser divididos em quatro categorias distintas, dependendo da finalidade do seu uso: doméstico, hospitalar, situações de emergência e uso militar. O que se verifica é, uma aposta mais acentuada no desenvolvimento e comercialização dos sistemas de monitorização para uso doméstico, uma vez que o consumidor alvo é em maior número e, a complexidade dos equipamentos a desenvolver é inferior aos equipamentos necessários para o uso tanto hospitalar como militar. No que diz respeito aos sistemas e equipamentos de monitorização hospitalar, grande parte da tecnologia é por fio. Desde os monitores de pressão arterial, oxímetros, até ultra-sons e aparelhos de raio-X, todos estes estão ligados à rede elétrica. De certo modo isto permite de um modo mais conveniente fornecer energia quando se trata de equipamentos para salvaguardar a vida das pessoas. Outra grande vantagem na utilização de tecnologias com fios é a não ocorrência de interferências entre os vários equipamentos eletrónicos. Uma vez que num meio hospitalar, existem um sem número de equipamentos eletrónicos pode ser inviável a utilização de tecnologias sem fios num meio desta natureza.

Devido à ocasionalidade e espontaneidade de ocorrer um desastre natural em grande escala, a aplicação de equipamentos de monitorização vocacionados para esta área ainda se encontra numa fase de desenvolvimento, sendo possível a introdução neste nicho de mercado de novas ideias e conceitos (Smalls et al. 2009).

Apesar de já existirem várias soluções e equipamentos para monitorização de diversos sinais vitais, todas estas assentam-se na transmissão dos dados recolhidos, apenas e só através de uma tecnologia sem fios, sendo esta uma solução com muito pouca fiabilidade. O futuro destes sistemas de monitorização passa pela possibilidade de receber e transmitir dados através de várias tecnologias sem fios. Com esta capacidade a questão que se pode

colocar, é que tecnologia utilizar em determinado momento para a transmissão dos dados. Os principais critérios para se fazer esta escolha prendem-se com o custo, funcionamento e preferência de utilização de determinada tecnologia sem fios (Niyato et al. 2009).

1.2 - Motivação e objetivos da dissertação

Em resposta ao ritmo elevado com que novos desafios são colocados à sociedade atual, nomeadamente o envelhecimento da população, novas soluções no campo das tecnologias da informação, comunicação e eletrónica são produzidas e postas no mercado com um ciclo de desenvolvimento cada vez mais curto. Atualmente, com a miniaturização dos sistemas eletrónicos, é possível ter num mesmo aparelho de dimensões reduzidas a capacidade de aquisição de múltiplos sinais vitais o que aliada à capacidade de comunicação permite uma monitorização contínua de pessoas em situações de risco num ambiente assistido. Para fazer face aos desafios impostos num ambiente tecnológico em constante mutação é necessário ter uma plataforma de monitorização dinâmica e modular capaz de por um lado fazer a aquisição de dados de diversas tecnologias e por outro comunicar das mais diversas formas com o exterior, o que implica disponibilizar um conjunto de interfaces alargado.

A realização desta dissertação tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma plataforma de monitorização pessoal multi-tecnológica que permita por um lado receber sinais vitais tais como a atividade elétrica do coração, níveis de oxigénio no sangue, pressão arterial, batimentos cardíacos, temperatura, ritmo respiratório e por outro comunicar por ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi, GSM/GPRS e RS-232.

Este dispositivo deve também ter a capacidade de permitir a ligação de diferentes sensores sem necessidade de configuração (*plug and play*).

1.3 - Projeto desenvolvido

À data de início do projeto de desenvolvimento da Plataforma de Monitorização Pessoal (PMP) já havia sido concluído, em parceria com a Agilus I+D, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o Hospital de São Sebastião e a SPECULUM, um projeto de telemetria médica para cuidados de saúde continuados, designado de NetCare. Neste foram desenvolvidos e integrados componentes necessários à implementação do conceito de proximidade com o paciente. Trata-se de um sistema baseado no *kit* Go-Wireless, constituído por um conjunto de dispositivos sem fios de aquisição de sinais vitais, *Personal Sensor Units* (PSUs), com capacidade de comunicação em redes locais ad-hoc e por uma unidade base para recolha e disponibilização da informação através de uma aplicação Web.

4 Introdução

O *kit* Go-Wireless é constituído por: um conjunto de PSUs de aquisição de sinais vitais com capacidade de comunicação em redes locais ad-hoc; uma unidade base (repositório de dados) para recolha e disponibilização da informação; um dispositivo móvel para consulta dos sinais vitais do paciente e um conjunto de *Range Expanders* que permitem o aumento da cobertura da rede local.

A aplicação web encontra-se alojada no servidor do sistema NetCare e permite: o registo da informação e conseqüente monitorização do paciente; a comunicação entre profissionais de saúde; visualização do historial do paciente e o acesso a um sistema de apoio à decisão médica.

A aplicação CareSense poderá ser utilizada em computadores pessoais, em *thin clients* ou em PDAs e permitirá gerir os dados dos pacientes, acompanhar o seu estado de saúde, integração com os sistemas hospitalares já existentes e gerir os alertas gerados pelo sistema. Esta aplicação é suportada por uma base de dados em *SQL Server* responsável pelo armazenamento dos dados e dispõe de *Web Services* para onde serão enviados os dados recolhidos pelas Unidade Base. Os *Web Services* farão uma análise aos dados recolhidos e enviam-nos para a base de dados (INOVAMAIS 2008).

O desenvolvimento da PMP juntamente com um módulo de aquisição de dados otimizado, terá como aplicação futura a substituição das PSUs no projeto NetCare.

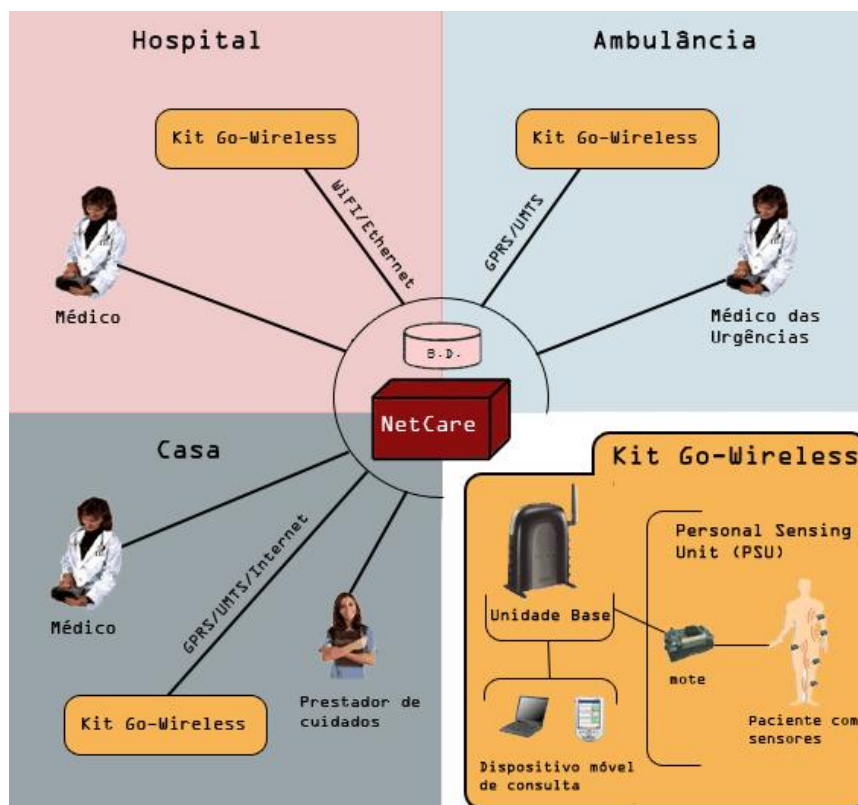


Figura 1.1 - Projeto NetCare (INOVAMAIS 2008)

1.4 - Clarificação dos termos utilizados na dissertação

Serve a presente secção para explicar alguns termos técnicos utilizados ao longo da dissertação, de forma a esclarecer o significado dos mesmos.

O termo *mote* é utilizado para designar um microcontrolador de baixo custo e baixa potência, com a finalidade de controlar um ou mais sensores dispostos no mesmo dispositivo físico. O envio e receção de dados, de e para a *mote*, é feita por meio de uma ligação de radiofrequência.

Gateway é a designação em inglês para porta de ligação. Trata-se de um dispositivo destinado a interligar redes, separar domínios de colisão e até mesmo traduzir protocolos. Exemplos de *gateways* bastante utilizadas são os *routers* e *firewalls*, uma vez que ambos servem de intermediários entre o utilizador e a rede.

O termo *thread* é utilizado para identificar uma sequência de instruções que vão ser executadas num programa. No ambiente UNIX, os threads encontram-se dentro de um processo, utilizando os recursos desse processo. Um processo poderá ter vários threads. Pode-se dizer que um thread é um procedimento que é executado dentro de um processo de uma forma independente.

Outro termo que surge neste documento é *dongle*. Este é um dispositivo externo conectado a um computador, utilizado para possibilitar o funcionamento de uma determinada aplicação. Neste projeto o *dongle* será Bluetooth e Wi-Fi por forma a autorizar o funcionamento de ambas as tecnologias na plataforma.

Memória flash é uma memória estática, não necessitando de corrente para salvaguardar os dados. Os tempos de acesso a este tipo de memórias são menores que os tempos de acesso das memórias voláteis, que necessitam de energia para manter a informação armazenada.

1.5 - Estrutura da dissertação

A presente dissertação é constituída por seis capítulos, sendo este o capítulo introdutório ao problema que se pretende resolver.

O capítulo 2 é inteiramente dedicado ao estado da arte dos sistemas de monitorização pessoais, com especial relevância para os dispositivos de monitorização desenvolvidos até ao presente nesta área. O objetivo é apresentar de uma forma sucinta e clara como funcionam e como podem ser estruturados este tipo de sistemas de monitorização.

No terceiro capítulo serão descritas todas as etapas realizadas para o desenvolvimento da plataforma de monitorização pessoal. Serão ainda justificadas todas as decisões tomadas durante o desenvolvimento dessa mesma plataforma.

6 Introdução

O quarto capítulo descreverá a implementação das várias tecnologias no projeto bem como a identificação dos principais módulos implementados.

No capítulo 5 desta dissertação, através da elaboração de vários testes, serão dados a conhecer os vários resultados provenientes desses mesmos testes.

As principais conclusões obtidas na elaboração deste projeto são apresentadas no capítulo 6. Neste são ainda discutidas as dificuldades encontradas ao longo da realização do projeto e apresentadas ideias para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1 - Introdução

No desenvolvimento de um projeto surge a necessidade de se contextualizar e verificar aquilo que já fora desenvolvido, de modo a criar algo integrado com o presente. Nesse sentido é necessário efetuar uma pesquisa e levantamento bibliográfico. Grande parte deste levantamento esteve confinado a revistas científica inseridas em bases de dados bibliográficas (metadados) e bibliotecas digitais.

Após ter uma visualização geral do assunto, houve a necessidade de mapear determinados conceitos de modo a proceder à pesquisa pormenorizada destes, fazendo a respetiva recolha dos dados. Finalmente houve lugar à análise e interpretação desses dados e informações.

Por forma a melhor compreender os principais blocos que compõe um sistema de monitorização pessoal surgiu a necessidade de analisar e interpretar separadamente os vários dados recolhidos respetivamente a esses blocos.

2.2 - Topologia da rede

O sistema de monitorização pode ser visto como a ligação ou combinação de sistemas (redes) mais simples. Cingindo-nos apenas às tecnologias sem fios, pois neste momento é nisso que estes sistemas se baseiam, é possível delimitar quatro redes que compõem todo o sistema de monitorização, que são: *Body Area Network* (BAN), *Personal Area Network* (PAN), *Wireless Wide Area Network* (WLAN) e *Wireless Wide Area Network* (WWAN). Para cada uma destas redes é possível assinalar determinados dispositivos essenciais para o bom funcionamento do sistema. No caso da rede BAN, rede mais próxima do utilizador do sistema, verifica-se a presença dos sensores colocados no corpo do paciente, bem como a plataforma

de comunicação (interface) com a outra rede, neste caso a rede PAN onde são utilizados outros dispositivos e outras tecnologias de comunicação, direcionados para a transmissão de dados para as redes subsequentes, a rede WLAN e rede WWAN (Rashvand et al. 2008).

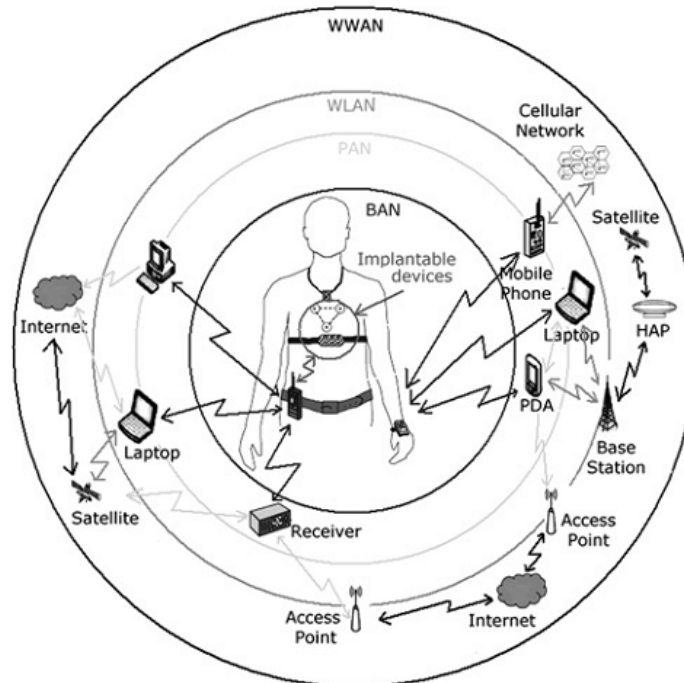


Figura 2.1 - Mapa de toda a rede de monitorização e suas interfaces (Rashvand et al. 2008).

Na rede mais próxima do indivíduo, rede BAN, é possível adotar uma topologia em estrela formada por dois módulos específicos: o *Sensor Communication Module* (SCM) e o *Personal Data Processing Unit* (PDPU). O SCM é um dispositivo de pequenas dimensões que pode ser ligado a um ou vários sensores colocados no corpo do utilizador do sistema e que, possibilita a comunicação wireless com a unidade de processamento central, PDPU. Esta por seu lado coordena toda rede BAN, o que implica o controlo das comunicações de todos os SCMs da rede e das comunicações com as redes exteriores, PAN e WLAN (Monton et al. 2008).



Figura 2.2 - Exemplo ilustrativo de uma rede BAN (Monton et al. 2008).

O iBAN, uma solução já desenvolvida, integra um oxímetro de pulso, um dispositivo GPS e um nó inteligente que não é mais do que uma plataforma de comunicação. Este nó inteligente possui três tecnologias de comunicação sem fios: norma 802.11, Bluetooth e uma ligação GSM/GPRS. A tecnologia Bluetooth é utilizada para estabelecer a ligação entre os sensores e o nó de ligação, designado de PDPU. Os dados então recolhidos são encaminhados do nó por WiFi e/ou GPRS/UMTS para a central de controlo e para um dispositivo móvel que estará na posse de um profissional de saúde (Moron et al. 2007).

Teoricamente a velocidade de transmissão do standard IEEE 802.15.4 é de 250 kb/s. Na prática verifica-se que esta velocidade é menor devido a limitações impostas pelos protocolos MAC e por comunicações com múltiplos saltos. Tendo em conta que para a captura de determinados sinais é necessário efetuar várias amostras por segundo, esta característica colocará limites à rede levando a uma diminuição do número de dispositivos ligados à rede ou a uma diminuição do número de dados adquiridos por esses mesmos dispositivos (Ko et al. 2010).

2.3 - Estrutura da PMP

Uma possível solução para a estrutura do sistema é dada por Zaosheng Zhang et. al. Esta é composta por três unidades: unidade de processamento, unidade dedicada aos sensores e unidade de comunicação. A unidade de processamento é a parte central de todo o sistema de monitorização. Esta solução visa monitorizar a atividade elétrica do coração (ECG), o grau de saturação de oxigénio no sangue (SpO₂) e a temperatura do paciente. Para isto utilizaram um micro controlador MCF52233 à frequência de 60 MHz, uma memória interna de 32 Kbytes, um

controlador Ethernet, três controladores UART, um controlador de barramento I²C e um conversor ADC de 10-bit ou 12-bit.

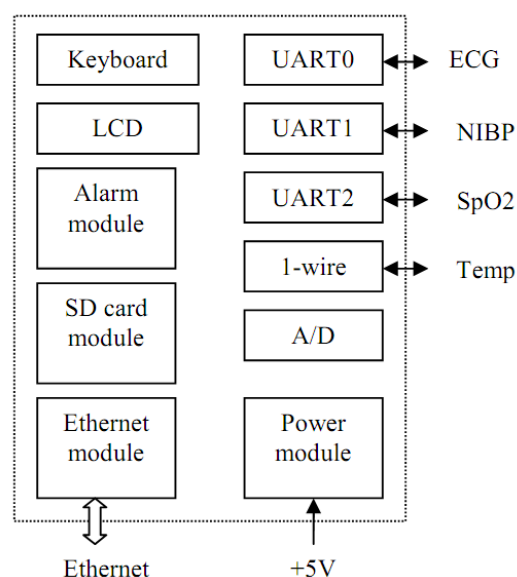


Figura 2.3 - Diagrama funcional da unidade de processamento (Zhang and Huang 2009)

Uma vez recolhidos os dados do paciente, estes são em seguida analisados na unidade de processamento através de algoritmos implementados sendo posteriormente guardados no cartão de memória. Esta informação é apresentada no ecrã da plataforma e disponibilizada por um serviço Web, onde os dados podem ser consultados em tempo real através de um ponto de acesso à internet. Contudo, por questões de segurança e de privacidade é necessário possuir uma chave de acesso a este serviço (Zhang and Huang 2009).

Um projeto realizado na Universidade de Waseda, Japão, no desenvolvimento de uma plataforma de monitorização, foi utilizado o módulo Waseda Hibikino Module-2 (WHM-2). Este é um transmissor e recetor sem fios de baixo consumo com funcionamento na banda dos 320 MHz. Este módulo possui oito entradas ADC e uma interface para comunicação por RS-232 C com um computador. O Baud rate é de 19.200 bps e uma frequência de canal de 50 kHz. Para o funcionamento correto da plataforma é necessária uma alimentação de 3 V (Li 2010).

2.4 - Protocolo e modos de estabelecer comunicação

Como é possível constatar, ocorrerá um número elevado de troca de informação entre os vários dispositivos que compõem todo o sistema de monitorização. Para que esta troca de informação se dê de forma correta é necessário definir uma trama composta por diversos campos de informação: o número de identificação da rede BAN, o endereço do coordenador dessa rede BAN, uma sequência de números predefinidos, dados relativos ao sincronismo da

rede e por fim, o intervalo de tempo até ao envio de nova trama. Esta trama é definida pela norma IEEE 802.15.4. Quando um SCM é ligado, este tenta estabelecer uma ligação com a rede BAN. Esta associação é feita após a verificação de todos os canais de modo a determinar a rede correspondente. Após esta ligação à rede, o SCM começa a receber tramas de dados, aceitando apenas aquelas que correspondam ao formato acima descrito. No caso de este não receber nenhuma trama válida num dos 16 canais disponíveis, é desligado automaticamente. Para o caso de ocorrer receção de tramas de dados através de dois canais distintos, o canal escolhido será aquele que apresentar melhor qualidade de ligação. Pode também ocorrer os dois canais terem o mesmo valor na qualidade de ligação, neste caso escolhe-se o canal com menor frequência (Monton et al. 2008).

No desenvolvimento do dispositivo WIHMD foram utilizadas soluções sem fios para a transmissão dos dados recolhidos. Baseando-se no estudo feito à data, concluíram que de acordo com a complexidade de implementação, consumo de potência e segurança, a melhor tecnologia a ser usada seria comunicações por radiofrequência para curtas distâncias e a rede de comunicações móveis para grandes distâncias. No caso particular, a comunicação entre o dispositivo (WIHMD) e um transmissor móvel é feita por radiofrequência e de seguida os dados são transmitidos pela rede móvel comercial até um terminal médico ou servidor (Kang et al. 2006).

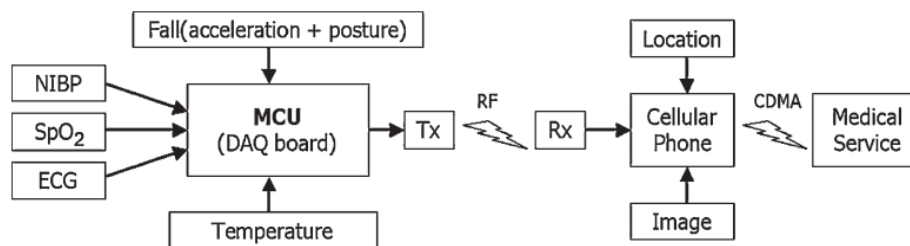


Figura 2.4 - Diagrama Funcional do dispositivo WIHMD (Kang et al. 2006).

A solução desenvolvida por Richard Fletcher et. al., designada por iCalm, pressupõe a utilização da norma para comunicações IEEE 802.15.4. Muito embora existam outros protocolos e normas disponíveis, grande parte destes não suporta comunicação entre vários sensores e não são compatíveis com hardware de baixa potência. Os sensores utilizados operam na gama UHF mas para esta solução optaram por trabalhar à frequência de 2.4 GHz de modo a diminuir o tamanho da antena e melhorar a propagação dos sinais, sobretudo dentro de edifícios. Foi também implementado um dispositivo capaz de enviar os dados tanto por Bluetooth como utilizando a norma IEEE 802.15.4 (Fletcher et al. 2010).

2.5 - Conversão dos sinais

Neste tipo de sistema de monitorização, grande parte dos sinais com que é necessário lidar são sinais contínuos. Ora estes não podem ser enviados diretamente de dispositivo para dispositivo. Para que seja possível proceder-se a esta troca de dados é necessário efetuar uma conversão prévia dos valores analógicos para digitais.

Numa primeira fase, os sinais vitais terão de ser recolhidos, amplificados e convertidos para sinais digitais antes mesmo de serem transmitidos por todo o sistema. A obtenção dos sinais vitais pode ser adquirida de várias formas e de forma não invasiva: através do uso de vários sensores colocados no corpo do paciente, utilização de t-shirts capazes de adquirir determinados bio sinais, assim como o uso de aparelhos de pulso. Para todos estes dispositivos, a sua única função é a de aquisição de sinais analógicos. Após a aquisição, estes são processados e convertidos para sinais digitais passando a ser possível a partir desta fase guardar e transmitir por toda a rede (Varshney 2008).

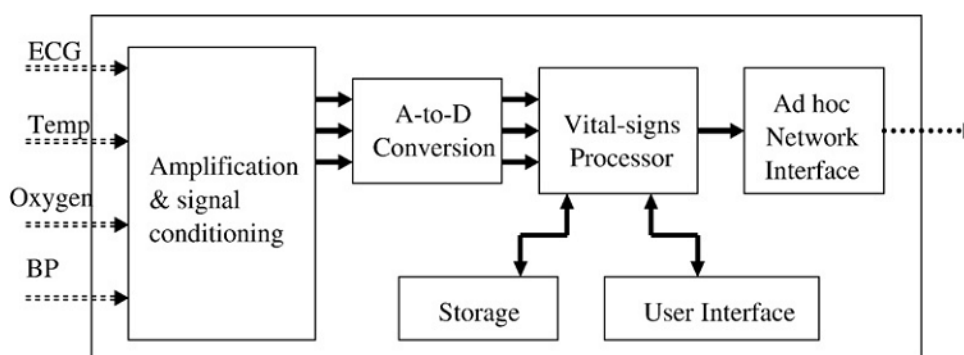


Figura 2.5 - Diagrama funcional de aquisição e conversão de bio sinais (Varshney 2008)

2.6 - Tecnologias de comunicação sem fios

Como foi demonstrado até aqui, após a conversão dos sinais, estes terão de ser transmitidos por todas as redes e através dos vários dispositivos que as compõe. Esta transmissão pode ser feita com base em várias tecnologias tendo como referência o tipo de rede em causa.

No caso de se tratar de redes BAN e PAN, aquelas que se encontram mais próximas do utilizador, as distâncias de transmissão serão mais pequenas o que faz com que não seja necessário a utilização de tecnologias com grande alcance de transmissão. Neste caso é utilizado Bluetooth, ZigBee, RFID, Ultra-wideband e Z-Wave.

A primeira versão da tecnologia Bluetooth compatível com a norma IEEE 802.15.1 utiliza a banda dos 2.4 GHz com velocidades de transmissão máxima de 750 kbps, mas que em

versões mais recentes são capazes de atingir os 3 Mbps. A distância máxima de transmissão é de 10 m na implementação original, podendo ser possível chegar aos 100 m com a utilização de antenas. Este tipo de tecnologia é capaz de estabelecer ligação entre 8 dispositivos sendo também ela de baixo consumo.

A tecnologia ZigBee é recente e tem por base a norma IEEE 802.15.4. Trata-se de uma tecnologia com baixo consumo de potência, uma vez que as taxas de transmissão assim como os dados transmitidos são em pequena quantidade. Utiliza a banda de frequência de 2.4 GHz assim como a 868 MHz na Europa e 902 MHz nos Estados Unidos da América. Com o aparecimento desta tecnologia foi possível implementar novas técnicas na rede ad hoc, entre elas, a transmissão contínua de pequenos pacotes de dados de modo a tentar criar novas ligações com outros dispositivos para que estes passem a ser novos nós da rede, encaminhando futuros dados. O alcance de transmissão através da tecnologia ZigBee vai de 10 m dentro de um edifício até 200 m no exterior utilizando a banda de 2.4 GHz. A taxa de transmissão dá-se a velocidades relativamente baixas, na ordem dos 250 kbits à frequência de 2.4 GHz (Rashvand et al. 2008).

A maior vantagem na utilização da tecnologia Bluetooth deve-se ao seu baixo custo e necessidade de uma antena de pequena dimensão. A largura de banda suportada por esta tecnologia chega a 1Mb/s o que é mais do que suficiente tendo em conta o fim para o qual esta tecnologia é destinada num sistema desta natureza (Moron et al. 2007).

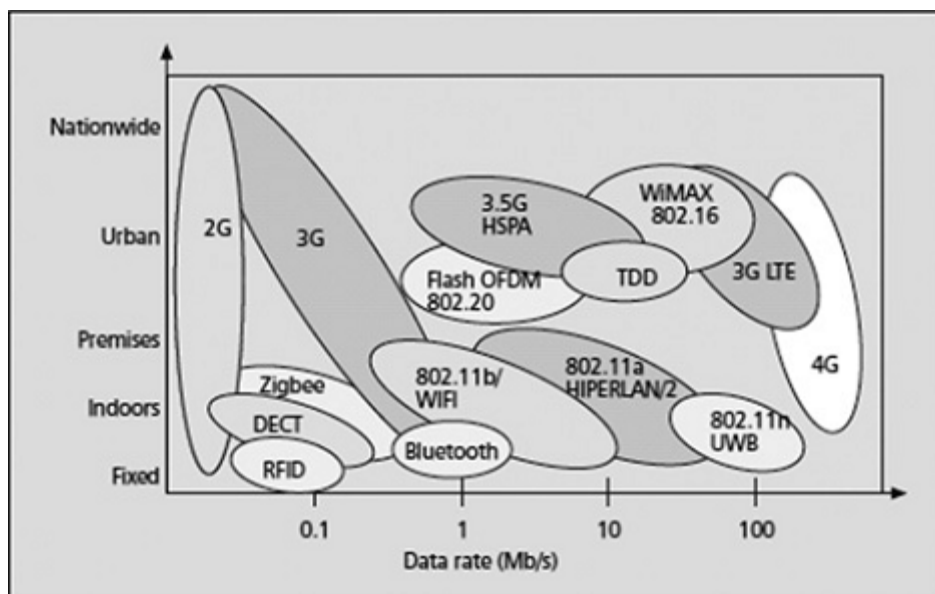


Figura 2.6 - Relação entre a velocidade de transmissão e área de cobertura das tecnologias sem fios mais comuns (Rashvand et al. 2008).

A outra tecnologia que irá ser utilizada no futuro, uma vez que só está regulamentada nos Estados Unidos, é a Ultra-wideband (UWB). Trata-se de uma tecnologia revolucionária sem fios, capaz de transmitir dados através de uma banda estreita com uma baixa densidade de

potência. A grande vantagem é a elevada taxa de transmissão que é possível obter. No futuro prevê-se que esta tecnologia possa permitir dispositivos com menor consumo de potência, menor custo, velocidades de transmissão superiores, e menor ocupação da largura de banda. A implementação desta tecnologia tem sido difícil uma vez que não há acordo para a aprovação dos regulamentos.

Para a transmissão de dados através da rede WLAN é utilizado, a partir do ano de 1997 e com a norma IEEE 802.11, a banda de frequência rádio de 2.4 GHz e tecnologia infravermelha. Atualmente e com as recentes evoluções surgiu o standard 802.11g que apresenta maior taxa de dados de transmissão, na ordem dos 54 Mb/s utilizando OFDM na banda de 2.4 GHz.

No que diz respeito às redes que abrangem uma área muito mais vasta como é o caso da WWAN, são utilizados os serviços internet (WiBro, Wireless Broadband) que proporcionam uma elevada taxa de transmissão de dados através de PSS tanto se tratando de um posto móvel como fixo.

Outra tecnologia sem fios possível de ser utilizada na rede PAN é a Z-Wave. Trata-se de uma nova tecnologia de radiofrequência, de baixo custo, baixo consumo e elevada fiabilidade a curtas distâncias. Com uma modulação FSK (BFSK/GFSK), a taxa de transmissão máxima é de 9.6Kbit/s com um alcance máximo do sinal de 30 a 100 metros, dependendo se esta tecnologia se encontra em funcionamento no interior ou exterior de edifícios.

Comparativamente com as outras tecnologias de comunicação sem fios, o protocolo Z-Wave é mais compacto. Esta apresenta maior fiabilidade, funcionando à frequência dos 868MHz; menor complexidade em relação à tecnologia Bluetooth e ZigBee; menor consumo de potência devido ao tipo de modulação utilizada, *FSK Manchester Coding*, e devido à baixa taxa de transmissão de dados (Yuan et al. 2010).

A este nível mais global de transmissão de dados verifica-se uma crescente importância da rede de comunicações móveis. O futuro deste tipo de sistemas de monitorização passará pelo uso da tecnologia imposta pela rede de comunicações móveis. Neste momento e tendo em conta o custo de utilização desta rede, não se torna de todo viável a sua implementação (Rashvand et al. 2008).

Tendo em conta as tecnologias de comunicação que existem e as suas características é possível distingui-las em duas categorias: as que têm grande mobilidade, isto é, aquelas que podem ser acedidas numa vasta área geográfica e as que apresentam baixa mobilidade e que são acedidas apenas em áreas geográficas limitadas. Devido às características de uma monitorização por ECG é necessário utilizar um meio de comunicação de grande mobilidade e elevada fiabilidade na transmissão de dados. Neste caso a melhor opção será recorrer à tecnologia GSM/GPRS utilizando um M23Q da BENQ que possui um protocolo TCP/IP capaz de assegurar o envio e receção dos sinais provenientes do ECG, em qualquer altura e onde quer que haja cobertura GSM (Dong et al. 2008).

Apesar de nos primeiros projetos de sistemas de monitorização terem sido desenvolvidos os meios de comunicação, tem-se vindo a revelar a tendência de utilizar nas redes PAN meios de comunicação standard, reduzindo assim os custos de desenvolvimento (Moron et al. 2007).

Como já se constatou até aqui, é possível utilizar recetores móveis, tais como telemóveis, PDA's, para receber os dados provenientes da rede PAN. Para isto é utilizado o CDPD, Cellular Digital Packet Data. Trata-se de um protocolo que utiliza a rede móvel existente, permitindo ao utilizador o envio e receção de dados onde quer que haja cobertura da rede. O envio de pacote de dados é feito no maior número possível de canais abertos (Budinger 2003).

2.7 - Características do sistema

Num sistema de monitorização de saúde, é de todo vantajoso pensar em armazenar os dados do paciente para que de alguma forma os profissionais de saúde possam fazer um diagnóstico mais correto e perceber a evolução do paciente. Para isto será vantajoso o desenvolvimento de uma base de dados capaz de dispor todos os dados, previamente tratados, de uma forma ordenada e disponíveis para consulta.

O envio de dados para um dispositivo móvel, na posse de um profissional de saúde, pressupõe que este equipamento seja capaz de reproduzir com exatidão a informação que lhe é transmitida. No trabalho realizado na universidade de Tsinghua, foi utilizado num PDA uma aplicação desenvolvida pela Microsoft, em C++ 4.0. Esta aplicação foi instalada no Microsoft Pocket PC 2003, e tem a capacidade de receber e descompactar dados fisiológicos, apresentando-os sob a forma de gráficos, para uma análise mais rápida (Shaosheng and Yue 2006).

No caso de um desastre em grande escala, para onde irão convergir vários meios de socorro de diferentes organizações, será despropositado e ineficaz a necessidade de ocorrer trocas tanto de chaves de acesso como de certificados para que se dê início à partilha de informação entre estes. Tal facto, faria despende algum tempo que numa situação de calamidade poderia significar o insucesso de uma operação de salvamento. É fácil de perceber que, numa situação desta natureza é impraticável pedir ao profissional de saúde que perca tempo a colocar os códigos de acesso, a procurar pontos de ligação com determinadas redes ou ainda que efetue ligação à base de dados. Assim sendo, é necessário a implementação de uma arquitetura que suporte um modelo de segurança típica de uma rede ad hoc, que deste modo dispense uma configuração manual da rede e que se auto-organize com base nos dispositivos que se encontram disponíveis (Lorincz et al. 2004).

O telemóvel é nos dias de hoje um equipamento de grande fiabilidade, de tal forma que tem sido cada vez mais utilizado na implementação de aplicações na área da medicina. O número crescente destes dispositivos, 1.4 mil milhões em 2004, faz com que grande parte das aplicações na área da saúde sejam direcionadas para estes dispositivos, aproveitando toda a

estrutura e rede de transferência de dados já implementada. Com o evoluir das tecnologias móveis, o aparecimento de serviços multimídia, o aumento da largura de banda e a melhoria das características dos equipamentos, será possível o desenvolvimento de aplicações cada vez melhores e mais completas, com a capacidade de aquisição de vários sinais vitais (Hung et al. 2004).

Uma vez implementado o sistema de comunicações na rede, é necessário fazer pequenos ajustes dos valores limites que irão ser analisados pelos sensores. Esta calibração do sistema é necessária para que se possa implementar de modo eficiente a funcionalidade de envio de alertas. De indivíduo para indivíduo os sinais vitais podem variar, levando a que por vezes se possam atingir valores limites pré-definidos, fazendo com que ocorra o envio de alertas sem que se trate de uma situação de perigo. Os alertas terão de ser encaminhados para profissionais de saúde, com o mínimo de atraso possível e sem que ocorra a corrupção do alerta. O envio de alertas poderá ser estruturado de várias formas, dependendo da topologia da rede bem como das tecnologias disponíveis no local (Varshney 2008).

Uma solução implementada no dispositivo WIHMD foi a possibilidade de deteção e envio de alertas no caso de ocorrer a queda do paciente. Isto sem dúvida que acrescenta valor ao produto uma vez que, segundo estatísticas, dez a quinze por cento das quedas podem originar problemas físicos graves. A deteção e análise de quedas, foi possível graças à combinação de um acelerómetro e um giroscópio. Com este sistema é ainda possível verificar se uma queda, comparativamente com valores limites de aceleração da gravidade, é grave ou não e caso o seja verificar se a pessoa, nomeadamente o dispositivo, se encontra próximo do chão durante um determinado tempo sequente à deteção da queda, o que pode revelar que o paciente se pode encontrar numa situação grave. Uma vez que este dispositivo também faz leituras de outros sinais vitais, os valores destes também serão tidos em conta no caso da ocorrência de queda do paciente (Kang et al. 2006).

O suporte para aplicação de mensagens de emergência em sistemas de monitorização deste tipo torna-se imprescindível, sendo fundamental garantir a fiabilidade e o menor atraso de entrega das mensagens bem como o menor número de mensagens corrompidas. Este tipo de propriedades são fulcrais sobretudo quando não existe uma infraestrutura de rede montada para o efeito, passando a ser essencial o roteamento das mensagens. Numa rede sem fios ad hoc, mensagens de alerta/emergência podem ser transmitidas utilizando diferentes esquemas de roteamento. Estes diferem no modo como as mensagens são encaminhadas até ao seu destino, afetando a fiabilidade de entrega da mensagem e o tráfego da rede. São propostos para tal quatro esquemas diferentes de roteamento da rede: multicast, multicast confiável, broadcast e broadcast confiável. No roteamento de multicast confiável a informação de determinado paciente é enviada para vários terminais. Isto requer a criação de uma árvore de difusão, o que implica alguns atrasos. No entanto desta forma é garantida uma maior fiabilidade na entrega das mensagens, tendo como senão o aumento

drástico do tráfego. De modo a melhorar esta estrutura de roteamento surgem as estruturas de difusão seletiva confiável e de transmissão fiável. Estas têm como base a persistência na transmissão de informações do paciente levando a um aumento da eficácia no que toca à entrega das mensagens (Varshney 2008).

Num sistema desta natureza, baseado no funcionamento a baixas frequências e tendo como princípio IEEE 802.15.4, a largura de banda é uma das principais limitações sobretudo numa zona de calamidade onde o número de dispositivos de monitorização terá tendência para aumentar exponencialmente nos instantes seguintes à ocorrência de determinado desastre. Assim sendo torna-se essencial atribuir prioridades às mensagens, sobretudo se tivermos a tratar de uma rede com vários dispositivos conectados e a transmitir dados (Lorincz et al. 2004).

O uso de sistemas sem fios está sujeita à limitação de alcance da tecnologia a ser utilizada. Essa limitação pode ser ultrapassada recorrendo ao aumento e instalação de vários nós de distribuição de informação. Esta solução levanta outro problema quando lidamos com um número elevado de equipamentos que comunicam sem fios, garantir a não corrupção das mensagens transmitidas entre equipamentos. Uma solução é implementar um código, designado de Checksum (soma de verificação). O nó de origem dos dados a transmitir trata de efetuar a soma sobre todos os bytes a transmitir, sendo o resultado desta enviado numa das últimas posições da trama de dados. Quando o nó de origem recebe esses mesmos dados trata de efetuar essa mesma soma e comparar com o valor que se encontra na última posição da trama recebida (Sarijari et al. 2008), podendo esta ser uma boa solução para verificar a veracidade dos dados recebidos.

Ao nível da rede a garantia de segurança desta pode ser feita de duas maneiras: determinados equipamentos têm privilégios e entre estes ocorre a distribuição de uma chave de segurança comum ao grupo de modo a poderem encriptar e ler a informação por eles partilhada. Outro modo possível de garantir a segurança na troca de informação entre os vários nós é encriptar essa mesma informação utilizando uma chave própria selecionada pelo nó de origem, que é distribuída juntamente com os dados (Dong et al. 2009).

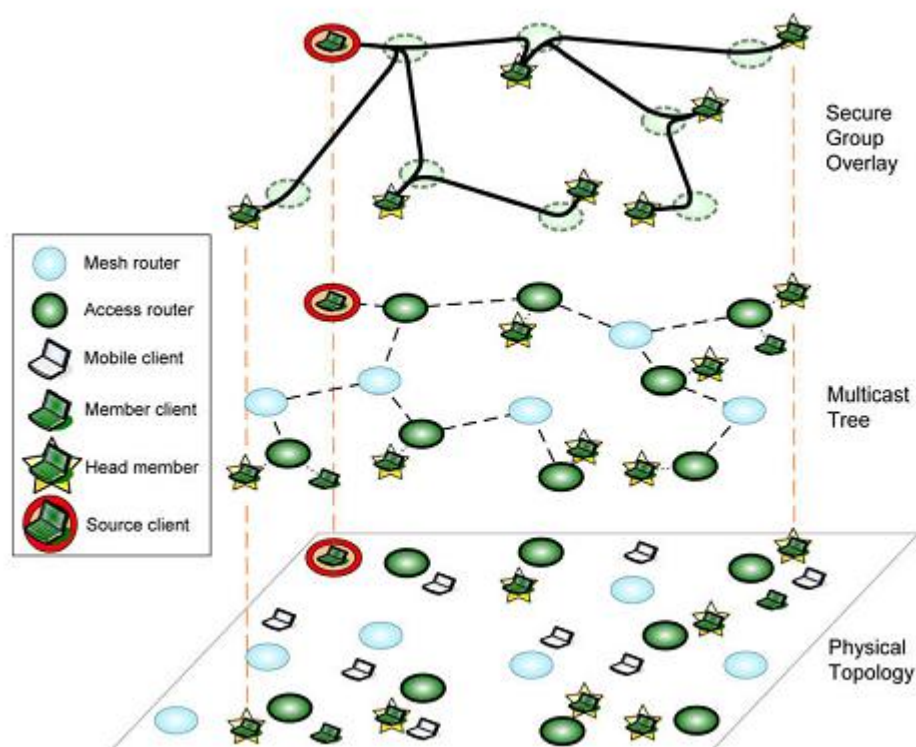


Figura 2.7 - Abstração conceptual da segurança do sistema (Dong et al. 2009).

Num sistema de monitorização de sinais vitais, isto é, sinais contínuos, onde a troca de informação é muita e onde é importante guardar determinados dados, torna-se essencial arquivar esses dados numa base de dados. Um bom princípio de funcionamento desta parte do sistema será enviar os mesmos quer para a base de dados quer para um dispositivo na posse de um profissional de saúde. Desta forma será possível analisar o histórico do doente e visualizar a evolução de determinado conjunto de sinais vitais. A conexão à base de dados deverá ser resistente a ataques, requisito este indispensável se, se tratar de um produto para ser comercializado. No que toca a segurança da rede, é essencial a implementação de uma base de dados de modo que esta possa guardar chaves de acesso à rede, quando estas existem (Virone et al. 2006).

No projeto iCalm foi implementado um servidor web de modo a armazenar, analisar e partilhar os dados adquiridos dos vários pacientes. O site, iCalm.org, corre a aplicação ASP.net, uma plataforma da Microsoft para o desenvolvimento de aplicações Web extraindo os dados de uma base de dados gerida por MSSQL. Este permite aos utilizadores visualizar e comparar dados atuais com registos passados, fazendo uso de filtros (Fletcher et al. 2010). Por forma a garantir a segurança no acesso à informação disponível na base de dados, poderá ser utilizado o protocolo *Secure Remote Password* (SRP) de modo a assegurar a autenticação de clientes, como no caso da solução apresentada pelo AlarmGate. A grande vantagem na utilização deste protocolo é o facto de este ser livre e sem custos de utilização (Virone et al. 2006).

O consumo de energia num sistema tão complexo como este tem grande relevância uma vez que, a finalidade a que estes dispositivos se prestam depende também da portabilidade destes levando à necessidade do uso de baterias.

Numa rede ad hoc, o valor de potência do sinal irá afetar tanto a capacidade do sistema em enviar mensagens de alerta, bem como a fiabilidade de entrega das mesmas.

No caso de ser imposto ao sistema uma grande autonomia, a melhor solução será a utilização de tecnologia Zigbee/802.15.4 para a transmissão de dados. Se o consumo energético do sistema não for uma característica importante então a tecnologia Bluetooth é a melhor solução para estabelecer ligações na rede PAN, ligações a curta distância (Moron et al. 2007)

O desempenho energético do sistema estará mais ao alcance do projetista do sistema na rede mais próxima do paciente, isto é na PAN, uma vez que para longas distancias o sistema teria uma complexidade impraticável em termos de consumo e gestão de potência. Uma solução mais fácil será utilizar a rede de comunicações móveis para o envio de dados a longas distâncias. Contrariamente na rede PAN será vantajoso, em termos de consumo de energia, projetar uma topologia particular dependendo do tipo de aquisição de sinais vitais que se pretende bem como da atividade do individuo a que a plataforma é destinada. De modo a tornar esta rede o mais eficaz possível desaconselha-se o uso de tecnologias de comunicação de curto alcance já existentes, como é o caso da tecnologia Bluetooth e HomeRF (Lamprinos et al. 2004).

A fiabilidade do sistema de monitorização poderá ser melhorada com o aumento do número de dispositivos cooperantes no sistema. O valor de potência transmitida tem influência tanto na capacidade dos dispositivos de monitorização pessoal em detetar novos dispositivos, como na capacidade destes detetarem novos nós de roteamento. Consequentemente a entrega de dados a uma rede mais global irá depender da potência de sinal que é entregue a essa mesma rede. Idealmente o dispositivo de monitorização pessoal deveria transmitir um sinal com potência suficiente para alcançar o próximo dispositivo cooperativo.

A gestão do consumo de energia deverá abordar tanto a gestão da plataforma de monitorização bem como dos dispositivos que se encontram na rede ad hoc, uma vez que tanto a conectividade da rede, assim como o tempo de funcionamento desta, dependem diretamente do nível de energia disponível nos vários dispositivos que compõe a rede. Na gestão de energia há que: proporcionar altos níveis de fiabilidade para entrega de mensagens, ter capacidade de gerir o nível de energia do dispositivo, adequar a complexidade dos protocolos com as funcionalidades da plataforma e por último minimizar a informação transmitida a partir de um dispositivo de um paciente. Algumas destas considerações foram tidas em conta no desenvolvimento dos quatro protocolos descritos na seguinte tabela (Varshney and Sneha 2006).

Tabela 2-1 – Protocolos implementados tendo em atenção a gestão de energia, adaptado de (Varshney and Sneha 2006)

Protocolo	Nível de fiabilidade	Eficiência energética	Número de saltos	Requisitos de processamento	Adequado para
MP-MCD (<i>Maximum Power from Patient's Device and Cooperating Devices</i>)	Elevada (devido à transmissão de potência máxima)	Baixa (bateria pode não durar muito tempo pois potência máxima é continuamente e transmitida)	Menor número (devido à potência máxima)	Nenhum (todos os dispositivos transmitem no nível de potência máximo)	Transmissão de alertas de sinais vitais
OP-OCD (<i>Optimal Power from Both Patient and Cooperating Devices</i>)	Alta (direcionado para dispositivos com baixa mobilidade)	Elevada	Elevado (devido à menor potência transmitida)	Vários (determinação dos níveis de potência ótimo)	Transmissão de sinais vitais de rotina
MP-OCD (<i>Maximum from Patient and Optimum from Cooperating Devices</i>)	Superior (potência máxima do dispositivo de origem pode aumentar a probabilidade de encontrar o próximo salto)	Possibilidade de grande conservação de energia	Maior que MP-MCD mas menor que OP-OCD	Alguns (determinação dos níveis de energia ideal para a maioria dos dispositivos)	Transmissão de sinais vitais de valores baixos de emergência
RP-RCD (<i>Random Power from Patient's Device and Cooperating Devices</i>)	Imprevisível (com base no nível de energia em cada um dos saltos)	Imprevisível (baseado no somatório de todos os níveis de energia)	Imprevisível (com base no nível de energia em cada um dos saltos)	Poucos (todos os dispositivos tem de escolher, aleatoriamente, um nível de potência)	Sem informação

2.8 - Normas a respeitar pelos dispositivos médicos

Uma vez que este sistema de monitorização é um dispositivo médico, é necessário que cumpra um conjunto de obrigações e procedimentos para que possa ser colocado no mercado, sendo que o organismo responsável pela certificação de dispositivos médicos em Portugal é o INFARMED.

Para que produtos classificados como "Produtos Médicos Activos" possam ser colocados no mercado europeu, o hardware tem que verificar os requisitos impostos pela Directiva 93/42/EEC, traduzida para a legislação portuguesa através do Decreto-Lei n.º 273/95 de 23 de Outubro. De acordo com este Decreto-Lei os dispositivos pertencem à Classe de Risco IIa. Assim para obter a aposição da marca CE nestes dispositivos há que cumprir os procedimentos indicados no Decreto-Lei n.º 273/95 de 23 de Outubro para dispositivos desta classe de risco.

Os dispositivos médicos deverão dar cumprimento aos requisitos essenciais dispostos no Anexo I do Decreto-Lei n.º 145/2009, de 17 de Junho, que se lhes aplicam, tendo em conta a sua finalidade. Devem ser concebidos e fabricados para que a sua utilização não comprometa o estado clínico nem a segurança dos doentes, nem, ainda, a segurança e a saúde dos utilizadores ou, eventualmente, de terceiros, quando sejam utilizados nas condições e para os fins previstos, considerando-se que os eventuais riscos associados à utilização a que se destinam constituem riscos aceitáveis quando comparados com o benefício proporcionado aos doentes e são compatíveis com um elevado grau de protecção da saúde e da segurança. O fabricante deve elaborar a documentação técnica, e o próprio ou o seu mandatário deve manter a referida documentação, incluindo a declaração de conformidade, à disposição da Autoridade Competente durante, no mínimo, cinco anos, a contar da última data de fabrico do produto. Esta documentação deverá ser preparada antes da elaboração da Declaração CE de conformidade e permitir a avaliação de conformidade do produto com as exigências do Decreto-Lei n.º 145/2009, de 17 de Junho abrangendo os seguintes aspetos:

- Relativos ao fabricante e entidades subcontratadas. Identificação do fabricante e/ou do seu mandatário estabelecido em Portugal; Planta da fábrica; Cópia da autorização de laboração; Número de funcionários; Nome e endereço dos subcontratados que participem no fabrico, montagem, acondicionamento, execução, renovação, remodelação, alteração do tipo, rotulagem ou esterilização dos dispositivos médicos e definição do tipo de relação contratual e adenda com as especificações técnicas existentes no contrato; Declaração do fabricante a nomear o mandatário no âmbito da Diretiva 93/42/CEE, do Conselho, de 14 de Junho alterada pela Diretiva 2007/47/CEE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Setembro; Comprovativo da notificação de acordo com o artigo 30º do Decreto-Lei n.º 145/2009, de 17 de Junho, para o fabricante e para as entidades subcontratadas que exerçam quaisquer das atividades anteriormente referidas; Identificação do responsável técnico.

- Descrição. Descrição geral do produto, incluindo as variantes previstas, bem como a sua finalidade (exemplo: nome, modelo, e tamanhos).
- Documentação das matérias-primas e componentes. Especificações incluindo, se aplicável, detalhes das matérias-primas, desenhos dos componentes e qualquer processo de controlo de qualidade.
- Documentação do produto intermédio. Especificações incluindo desenhos, circuitos e especificações da formulação; métodos de fabrico relevantes e quaisquer outros procedimentos de controlo de qualidade.
- Documentação de embalagem e rotulagem. Especificações da embalagem e cópias de todas as rotulagens e folhetos de instruções.
- Verificação da conceção. Os resultados dos testes de qualificação e cálculos de conceção para o fim de destino do dispositivo, e caso o dispositivo deva ser ligado a outros dispositivos para poder funcionar de acordo com a finalidade a que se destina é necessário comprovar que ele satisfaz os requisitos essenciais quando ligado a qualquer ou quaisquer desses outros dispositivos que possuam as características indicadas pelo fabricante. Se o fabricante fornecer informação demonstrando que a conceção é segura e foi estabelecida para o prazo de funcionamento do dispositivo, previsto pelo fabricante, essa informação, muito provavelmente, será suficiente para satisfazer estes requisitos.
- Análise de Risco. Os resultados da análise de risco para verificar se qualquer risco associado ao uso é compatível com o elevado nível de proteção da saúde e segurança e se é aceitável quando comparado com os benefícios para o doente ou utilizador. Se a biocompatibilidade é relevante, por exemplo, em casos de contacto com a pele ou de dispositivos invasivos, é necessária uma compilação e uma análise dos dados existentes ou relatórios de ensaio com base nas normas.
- Cumprimento dos requisitos essenciais e normas harmonizadas. Uma lista de normas harmonizadas relevantes (ex: esterilização, rotulagem e informação, biocompatibilidade, segurança elétrica, análise de risco, compatibilidade eletromagnética, especificações do grupo do produto) que foram aplicadas na totalidade ou parcialmente. Caso não tenham sido aplicadas normas harmonizadas relevantes, na sua totalidade, serão necessários dados adicionais detalhando as soluções adotadas para satisfazer os requisitos essenciais de acordo com o Anexo I do Decreto-Lei n.º 145/2009, de 17 de Junho. Acrescente-se que, no caso dos produtos colocados no mercado já esterilizados, a descrição dos métodos adotados e o relatório de validação deverão ser listadas.
- Validação de software. Elaborar um relatório relativo à validação do software, no caso do dispositivo ser ou fazer parte integrante de um software.

- Registos. Evidenciar o controlo de qualidade no fabrico englobando os registos dos testes efetuados para demonstrar a conformidade com os requisitos legais, procedimentos definidos e especificações.

O fabricante nacional de dispositivos médicos de classe I, ou o seu mandatário nacional, deve notificar o INFARMED, I.P., enquanto Autoridade Competente da colocação no mercado dos referidos dispositivos. A informação relativa ao modo de notificação deve ser consultada em:

http://www.infarmed.pt/portal/page/portal/INFARMED/DISPOSITIVOS_MEDICOS/REGISTO_DE_DM_E_DIV/FABRICANTES:DM_CLASSE_I tendo em atenção que foi atualizada em 21 de Março de 2010, aquando da entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 145/2009, de 17 de Junho.

O fabricante deve criar e manter atualizado um processo de análise sistemática da experiência adquirida com os dispositivos na fase de pós-produção, incluindo as disposições referidas no anexo XVI do Decreto-Lei n.º 145/2009, de 17 de Junho, e desenvolver meios adequados para aplicação de quaisquer ações corretivas necessárias, tendo em conta a natureza e os riscos relacionados com o produto. Neste sentido, o fabricante deverá implementar um sistema de vigilância, tendo que comunicar à Autoridade Competente todas as informações relativas a incidentes ocorridos em Portugal, após a colocação no mercado dos dispositivos abrangidos pelo decreto-lei referido, nomeadamente:

- Qualquer disfunção, avaria ou deterioração das características ou do comportamento funcional, bem como qualquer imprecisão, omissão ou insuficiência na rotulagem ou nas instruções de utilização de um dispositivo, que sejam suscetíveis de causar ou ter causado a morte ou uma deterioração grave do estado de saúde de um doente, utilizador ou terceiro;
- Qualquer dano indireto, na sequência de uma decisão médica incorreta, relacionada com um dispositivo médico, quando utilizado de acordo com as instruções de utilização fornecidas pelo fabricante;
- Qualquer motivo de ordem técnica ou médica relacionado com as características ou com o comportamento funcional de um dispositivo que, pelas razões referidas anteriormente, tenha conduzido a uma ação corretiva de segurança no mercado português dos dispositivos do mesmo tipo por parte do fabricante;
- Outras informações que a experiência demonstre deverem ser notificadas.

Após a notificação, o fabricante é obrigado a investigar os incidentes no sentido de averiguar a necessidade da implementação de medidas corretivas, tendo como principal objetivo minimizar o risco decorrente da utilização dos dispositivos médicos. Após a investigação, dispõe de um prazo de 10 dias para comunicar à Autoridade Competente, através do relatório final, os resultados da investigação.

No caso da plataforma ser fabricada em PVC que contenha ftalatos, deverá ser respeitado o Decreto-Lei nº 145/2009 de 17 de Junho, nomeadamente no que se refere a:

- “Os dispositivos devem ser concebidos e fabricados por forma a reduzirem a um mínimo os riscos colocados pela libertação de substâncias do dispositivo, devendo ser concedida especial atenção a substâncias cancerígenas, mutagénicas ou tóxicas para a reprodução, em conformidade com o anexo I da Diretiva 67/548/CEE, do Conselho, de 27 de Junho...” - tal como referido no ponto 7.7, do anexo I do referido diploma.
- “No caso de partes do dispositivo (ou o próprio dispositivo) destinadas a administrar medicamentos, líquidos corporais ou outras substâncias no corpo humano e, ou, a removê-las do corpo humano, ou dispositivos destinados ao transporte e ao armazenamento desses fluidos ou substâncias corporais, contenham ftalatos que sejam classificados como cancerígenos, mutagénicos ou tóxicos para a reprodução, da categoria 1 ou 2, em conformidade com o anexo I da Diretiva n.º 67/548/CEE, do Conselho, de 27 de Junho, deve ser aposta na rotulagem do próprio dispositivo e ou na embalagem de cada unidade ou, se for caso disso, na embalagem de venda, uma indicação de que se trata de um dispositivo que contém ftalatos...” - tal como referido no ponto 7.7.1, do anexo I do referido diploma.
- “Se a utilização pretendida desses dispositivos incluir o tratamento de crianças ou o tratamento de mulheres grávidas ou em aleitamento, o fabricante deve fornecer uma justificação específica para a utilização dessas substâncias no que se refere ao cumprimento dos requisitos essenciais, nomeadamente dos constantes no presente número e nos n.os 7.7 e 7.7.1, na documentação técnica e nas instruções de utilização sobre os riscos residuais para estes grupos de doentes e, se for caso disso, as medidas de precaução adequadas.” - tal como referido no ponto 7.7.2, do anexo do referido diploma. (INFARMED 2011)

Capítulo 3

Etapas de desenvolvimento e Implementação

3.1 - Introdução

A primeira fase do projeto passou pela identificação e descrição de requisitos e funcionalidades, tendo como base o estudo prévio de outras soluções. Após a elaboração destes foi necessário definir e especificar os requisitos e funcionalidades de alto nível sendo vantajoso a utilização de diagramas para melhor percepção de todos os módulos que fazem parte do projeto.

A segunda fase passou pelo desenvolvimento da plataforma de monitorização. Com o decorrer dos trabalhos esta foi dividida em três grandes etapas: desenvolvimento e implementação do protocolo das motes Crossbow de modo a estabelecer ligação por ZigBee entre estas e a FOX Board, implementação do protocolo das motes Tmote por forma a estabelecer uma ligação entre o módulo de aquisição de sinais vitais e a FOX Board e por fim a criação de uma camada de abstração que estará a correr na FOX Board, por forma a controlar todas as funções a executar pela FOX Board, desde a deteção das tecnologias sem fios existentes no local, receção dos dados e conversão destes para posterior envio.

Entre as duas primeiras etapas desta última fase, foi feita uma tentativa para implementar as tecnologias Bluetooth e Wi-Fi na plataforma.

3.2 - Descrição do problema

Como foi descrito no primeiro capítulo, este projeto surge em resposta ao ritmo elevado com que novos desafios se colocam à sociedade, nomeadamente o crescente envelhecimento por parte da população dos países desenvolvidos.

Aproveitando a massificação que se tem vindo a verificar das tecnologias de comunicação sem fios e a crescente miniaturização dos sistemas eletrónicos será possível projetar uma plataforma capaz de receber e enviar dados através de várias tecnologias sem fios.

No desenvolvimento da PMP há que contextualizá-la ao sistema onde irá ser inserida, não se tratando apenas do desenvolvimento isolado do dispositivo, uma vez que este servirá de “ponte” de informação. Assim sendo, é necessário verificar que bio sinais irão ser recolhidos pelos sensores e a que taxa de amostragem será feita essa recolha de modo a proceder à escolha de uma *Single Board Computer*, que tal como o nome indica, todos os componentes eletrónicos necessários para o funcionamento do microcontrolador estão situados numa única placa de circuito impresso. Na escolha desta, é também necessário verificar as interfaces disponíveis para vir a acoplar os dispositivos referentes às várias tecnologias de comunicação sem fios, assim como o sistema operativo que esta contempla, por forma a executar as diversas aplicações desenvolvidas no projeto.

Uma vez que o projeto tem como base o uso de tecnologias de comunicação sem fios é essencial garantir a segurança e a fiabilidade dos dados, quer recebidos quer transmitidos pela PMP. Outro fator a ter em conta é a mobilidade da PMP, que implicará uma flexibilidade por parte da plataforma no que se refere à comutação entre as tecnologias sem fios disponíveis no local. Para além da disponibilidade das tecnologias, outro fator a ter em conta será o custo de utilização das mesmas, sendo dada maior prioridade àquelas que apresentam menor custo de utilização. Relacionado com a tecnologia de comunicação sem fios a utilizar está o envio de mensagens de alerta da PMP para a rede. O custo de utilização de determinada tecnologia de comunicação sem fios não será o fator de escolha dessa tecnologia mas sim a disponibilidade da mesma no local onde se encontra. O envio de mensagens de alerta será despoletado caso na aquisição dos bio sinais, estes ultrapassem valores limite estabelecidos nas aplicações a correr na PMP. Estes valores limite serão diferentes de individuo para individuo dependendo do grupo de risco a que este pertence.

A taxa à qual é feita a aquisição de um bio sinal, depende da natureza deste. Assim sendo, não será vantajoso, no caso dos valores recolhidos estarem dentro dos limites, o reencaminhamento imediato destes a partir da PMP para a rede. Será então proveitoso, tanto a nível de custos de utilização de uma tecnologia de comunicação sem fios como ao nível de eficiência energética, a criação de pacotes de dados de forma a enviar um conjunto de dados recolhidos num determinado intervalo de tempo.

Dependendo do destino atribuído aos dados recolhidos, como por exemplo a base de dados do sistema, poderá ser necessário efetuar uma conversão destes na própria PMP antes

mesmo do seu reencaminhamento. Nesta base de dados serão depositados todas as informações recolhidas pelos sensores, de modo a ser possível fazer uma monitorização contínua dos parâmetros vitais por parte de um profissional de saúde.

3.3 - Definição de requisitos e funcionalidades de alto nível

Tanto ao nível do sistema como ao nível da plataforma física a ser transportada por um paciente, é essencial definir documentalmente determinados requisitos. Estes não são mais do que propriedades e comportamentos que quer o produto quer o sistema deverão atender com especial atenção.

Os requisitos são tipicamente utilizados como informação fundamental para a fase de projeto de um produto, especificando as propriedades, funções, atributos e qualidades necessárias a serem consideradas no desenvolvimento do projeto em causa.

Numa primeira fase fez-se o levantamento de requisitos apenas ligados à plataforma. Para posteriormente se proceder à análise e especificação destes, efetuou-se a sua catalogação em requisitos funcionais e não funcionais.

Tabela 3-1 – Requisitos funcionais da PMP

Código do Requisito	Descrição
Req_fun_1	Receber informação proveniente de vários sensores
Req_fun_2	Possuir baixo consumo de potência
Req_fun_3	Comunicações Wireless têm de respeitar standard IEEE 802.15.4
Req_fun_4	Enviar e receber dados através de várias tecnologias
Req_fun_5	Receção e transmissão de dados sem intervenção do utilizador da PMP
Req_fun_6	Enviar alertas no caso de se detetar valores acima dos valores limite impostas pela PMP.
Req_fun_7	Funcionar em contínuo, 24 horas por dia
Req_fun_8	Permitir a ligação de diferentes dispositivos sem necessidade de configuração - (Plug-and-Play)
Req_fun_9	Taxa de amostragem do microprocessador igual ou superior a 500 amostras por segundo

Tabela 3-2 – Requisitos não funcionais da PMP

Código do Requisito	Descrição
Req_N_fun_1	PMP confortável para o utilizador, leve e de pequena dimensão
Req_N_fun_2	PMP capaz de suportar: derramamento de líquidos, pequenas quedas e vibrações
Req_N_fun_3	Preço deverá ser comportado pela maioria das pessoas
Req_N_fun_4	Sinalizar na PMP quando é atingido um nível baixo de bateria
Req_N_fun_5	Aplicação de um monitor na plataforma

Para o objetivo a que este projeto se propõe é possível identificar três grandes funcionalidades de alto nível: receção de dados, deteção de interfaces de comunicação e envio de dados.

A PMP deverá ser dotada da capacidade de receção de dados provenientes dos sensores. O reencaminhamento destes da plataforma para a rede deverá ser exequível através de uma de várias interfaces disponíveis. Para isso será necessário conferir à plataforma a funcionalidade de detetar e escolher uma determinada tecnologia de comunicação

3.4 - Solução proposta

A arquitetura do sistema projetada para executar as funcionalidades acima descritas pode ser vista na figura seguinte.

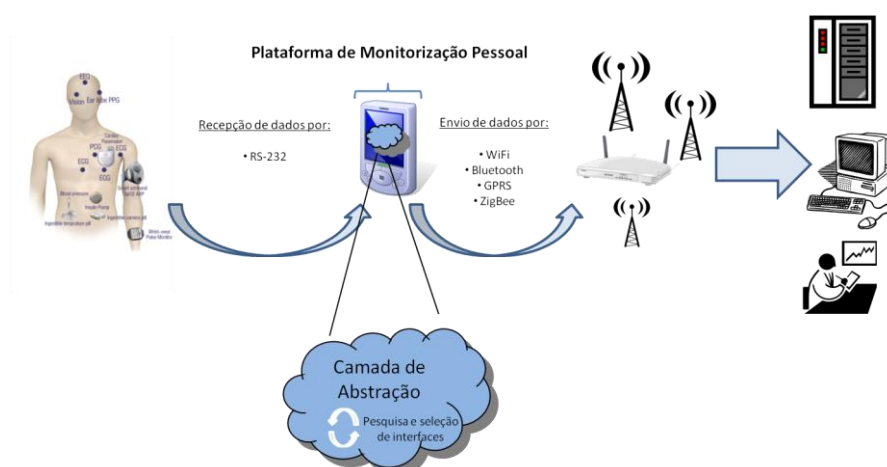


Figura 3.1 - Arquitetura proposta do sistema a desenvolver

A PMP será responsável por executar as três principais funcionalidades de alto nível. Para isso esta terá de ser capaz de receber dados provenientes dos sensores, através do uso de várias tecnologias, de modo a ser uma solução com valor acrescentado. Outra decisão importante para a solução do problema será detetar e selecionar uma tecnologia de comunicação para posterior encaminhamento dos dados. Tal ficará a cargo de uma aplicação a desenvolver, designada por camada de abstração, onde serão executadas rotinas de pesquisa de interfaces de comunicação. Caso não esteja disponível nenhuma interface será necessário que a plataforma seja capaz de armazenar a informação recolhida para posteriormente poder ser enviada. Verificadas as interfaces disponíveis, os dados serão roteados pela rede até ao destino final. Dependendo deste, poderá ser necessário alterar o formato dos dados, por forma a serem reconhecidos pelos equipamentos a que se destinam.

3.5 - Metodologia seguida na implementação e teste

Tanto no desenvolvimento como na execução de certos testes foi necessário recorrer a algumas ferramentas.

No início do projeto e de modo a familiarizar-me com a FOX Board foi necessário recorrer à página web da ACME Systems, responsável pela distribuição da FOX Board. Nesta foi possível encontrar documentação vária, explicativa dos passos a dar, como por exemplo, compilar aplicações em linguagem C e C++. Para realizar a tarefa foi necessário instalar no computador um pacote de software gratuito de virtualização da VMware, Inc. capaz de criar uma máquina virtual, neste caso era pretendido que esta fosse Linux, uma vez que é este o sistema operativo que se encontra na FOX Board.

Após compilação das aplicações em linguagem C no *VMware Player*, será necessário transferir estas para a FOX Board utilizando para isso o WinSCP. Este é um software livre SFTP e FTP cliente para o Microsoft Windows com a funcionalidade de transferir arquivos em segurança de um computador local para outro remoto. Para além disto o WinSCP é uma boa ferramenta de gestão e sincronismo de arquivos, essencial para o controlo de pastas e aplicações na FOX Board.

Por último procedeu-se à instalação da aplicação PuTTY. Trata-se de um cliente SSH destinado a estabelecer o acesso remoto a servidores via Secure Shell e à construção de canais cifrados entre servidores. Deste modo é possível executar aplicações no Sistema Operativo da FOX Board e até mesmo navegar pelas várias pastas através da consola.

Para a criação de uma aplicação a executar na FOX Board, e como a plataforma desta é do tipo Unix fora utilizado arquivos *Makefiles*. Através do uso do comando *make* no *VMware Player* é possível compilar automaticamente o código fonte de um programa, decidindo por onde começar, através de uma ordenação topológica. Após compilação do código fonte é gerado um arquivo, arquivo este que é transferido para a FOX Board através da ferramenta

WinSCP. Com o arquivo na FOX Board bastará executá-lo, utilizando para isso a aplicação PuTTY, de modo a inserir os comandos corretos.

Durante a elaboração do projeto as aplicações a serem executadas na plataforma foram desenvolvidas com recurso à linguagem de programação C, muito embora a FOX Board fosse capaz de executar aplicações desenvolvidas em linguagem C++. Após alguns testes foi possível constatar que seria inviável o desenvolvimento de aplicações em C++ uma vez que após compilação destas, os arquivos gerados ultrapassavam a capacidade de memória da própria FOX Board. Tal facto deve-se às bibliotecas existentes em cada uma das linguagens e uma vez que a biblioteca padrão em C++, para além de ter uma coleção de classes, funções e variáveis escritas na própria linguagem, ainda incorpora a biblioteca padrão da linguagem C.

3.6 - Identificação dos principais módulos

Todo o sistema de monitorização pode ser visto como a interligação de três grandes módulos. A aquisição de bio sinais é o primeiro módulo e fica a cargo dos sensores, a receção e envio dos dados através de várias tecnologias de comunicação sem fios ficará a cargo da PMP. Por último o tratamento e disponibilização dos dados é da responsabilidade de um serviço web com apoio de uma base de dados.

De acordo com o objetivo proposto para este projeto o módulo que foi estudado e desenvolvido foi a PMP, não se descurando certas propriedades dos módulos que se encontram a montante (os sensores) e a jusante (a base de dados).

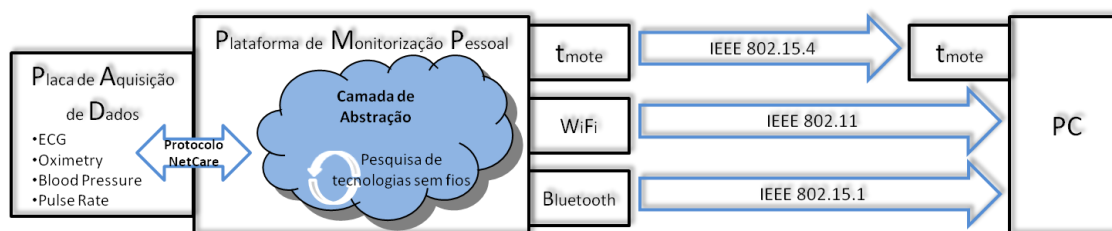


Figura 3.2 - Módulos da arquitetura do sistema de monitorização

Tendo em atenção as funcionalidades de alto nível, identificadas no capítulo 3, receção de dados, deteção de interfaces de comunicação e envio de dados, foi possível identificar um conjunto de módulos capazes de executar essas mesmas funcionalidades. A designação dada a este módulo é *Single Board Computer*, e tal como o nome indica, todos os componentes eletrónicos necessários para o funcionamento do microcontrolador estão situados numa única placa de circuito impresso.

É pois evidente que o elemento fulcral na escolha deste módulo é o microcontrolador, sendo a taxa de amostragem deste uma das principais características. Outras propriedades

importantes para o desenvolvimento da PMP são: o número e tipo de portas presentes no módulo, os sistemas operativos suportados por este e ainda a capacidade da memória.

De modo a comparar as características dos diferentes módulos procedeu-se à catalogação das suas diferentes propriedades:

FOX Board G20:

- Microcontrolador: Atmel AT91SAM9G20;
- Memória: 64 MB de RAM, 256 KB memória flash;
- Porta USB: duas portas USB 1.1;
- Porta Ethernet: uma porta 10/100M;
- Porta série: duas portas (RS-232/485/422);
- Sistema Operativo: Linux;
- ADC: quatro canais, 10-bit 312 Ksps;

SBC-X300 Board:

- Memória: 128MB SDRAM, 512MB memória flash;
- Porta USB: duas portas;
- Porta Ethernet: uma porta 10/100M;
- Porta série: três portas UART's;
- Sistema Operativo: Linux 2.6.29 & WinCE;

SBC8100:

- Microcontrolador: TI OMAP 3530;
- Memória: cartão de memória SD/MMC;
- Porta USB: quatro de alta velocidade;
- Porta Ethernet: uma porta 10/100M;
- Porta série: uma porta RS-232;
- ADC: dois canais, 10-bit 312 Ksps;
- Sistema Operativo: Linux 2.6.19 & WinCE;

SBC2596:

- Microcontrolador: LP Pentium;
- Memória: 128 MB, 1MB memória flash;
- Porta USB: uma porta USB 1.0;
- Porta Ethernet: uma porta 10/100M;
- ADC: quatro canais, 14-bit;
- Sistema Operativo: Linux & WinCE/NT;

32 Etapas de desenvolvimento e Implementação

EPX-855:

- Microcontrolador: Intel 1.8GHz Pentium M;
- Memória: 1GB SDRAM;
- Portas USB: quatro portas USB 2.0;
- Porta Ethernet: uma porta Gigabit 10/100/1000Mbps;
- Porta série: duas portas RS-232/422/485;
- Sistema Operativo: Windows XP & Linux;

Para o desenvolvimento da PMP o módulo utilizado foi a FOX Board LX832 que apresenta as seguintes características:

- Microcontrolador: 100MIPS Axis ETRAX 100LX;
- Memória: 32 MB RAM, 8 MB Flash;
- Portas USB: duas portas USB 1.1;
- Portas Ethernet: uma porta 10/100 Mb;
- Sistema Operativo: Linux 2.6.19;



Figura 3.3 - Single Board Computer utilizado na PMP (SYSTEMS 2011)

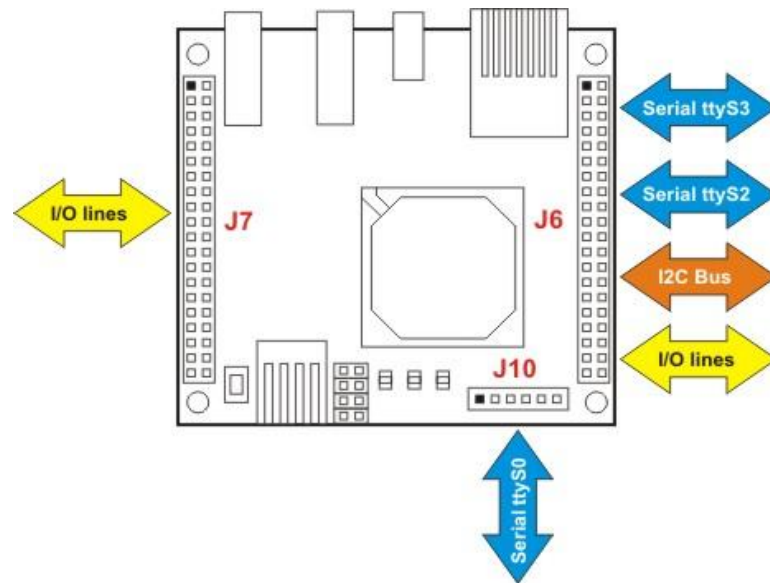


Figura 3.4 - Interfaces disponíveis na FOX Board (SYSTEMS 2011)

3.7 - Implementação das tecnologias de comunicação

A primeira tecnologia de comunicação a ser integrada com a FOX Board foi a tecnologia ZigBee. Para tal foram utilizadas motes da marca Crossbow, modelo MTS300, com capacidade de processar e reencaminhar informação para outras motes até à FOX Board. Os dados por estas recolhidas foram relativos à temperatura, luminosidade, acústica e nível de energia da bateria.

Numa segunda fase do projeto houve necessidade de integrar outras motes, as Tmote, por forma a estabelecer uma ligação entre a FOX Board e um módulo de aquisição de sinais vitais.

Entre estas duas fases do projeto, foi possível estabelecer uma tentativa de implementação e integração das tecnologias Bluetooth e WiFi.

3.7.1- Tecnologias de receção de dados

Para que fosse possível efetuar uma conexão entre a FOX Board e as motes Crossbow foi necessário implementar o protocolo fornecido por estas, criando para isso uma aplicação, em linguagem de programação C, onde é também executada a abertura e leitura da porta série. É através desta que é feita a receção dos dados utilizando para o efeito uma *gateway*, conectada à FOX Board por uma porta USB. Aquando da receção, os dados são colocados num vetor unidimensional temporário, de tamanho fixo (maior que o máximo tamanho de trama possível de ser enviada pelas motes). Em seguida essa mesma trama é colocada num vetor bidimensional definitivo, onde é analisada a integridade e os dados nela contida.

34 Etapas de desenvolvimento e Implementação

Através da implementação do protocolo foi possível identificar os vários campos que compõe a trama de dados transmitida pela mote. A detecção da trama à chegada à FOX Board é feita verificando os primeiros quatro bytes. Se estes corresponderem aos seguintes valores: 0x7E, 0x42, 0x7D, 0x5E; significa que se trata do início de uma nova trama. Não se tratando de tramas com o mesmo comprimento, uma vez que é possível enviar informação variada nestas, é necessário verificar se o valor do byte que representa o tamanho dessa mesma trama, neste caso o nono byte, corresponde ao tamanho efetivo da trama. Este valor é representativo do tamanho dos campos *Xmesh Header*, *XSensor Header* e *Data*, uma vez que os outros campos não variam em tamanho.

Tabela 3-3 – Exemplo de trama enviada pelas motes MTS300

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
126	66	125	94	0	11	125	93	27	0	0	2	0	0	0	51	131	129	0	0	
SYNC				Dest Address				AM_T	AM_G	Length		SA	AO (ID Mote)		SeqNumber	Ap.ID	BoadID	SP ID	Parent	
TinyOS Header								Xmesh Header						XSensor Header						
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38		
174	1	251	1	73	3	203	1	0	0	0	0	0	0	0	0	67	98	126		
Voltage		Thermistor		Light		Microphone		Data									CRC		SYNC	

Outra informação bastante importante que é enviada na trama é o campo correspondente ao CRC (Cyclic Redundancy Check). É com a informação contida neste campo que é possível verificar a integridade da mensagem entregue na FOX Board. Com a disponibilização do algoritmo de cálculo do CRC, por parte da Crossbow, este é implementado na aplicação a correr na FOX Board e o resultado retornado por esse cálculo efetuado sobre os bytes que compõe a trama é comparado com aquele que foi enviado na trama. No caso de o valor ser igual, fica garantida a integridade da mensagem recebida na plataforma e a partir desse momento é analisada a informação contida na trama.

```

133 char xcrc_byte(int crc, int b) {
134     int i;
135
136     crc = crc ^ b << 8;
137     i=8;
138     do{
139         if (crc & 0x8000) {crc = crc << 1 ^ 0x1021;}
140         else {crc = crc << 1;}
141     }
142     while (--i);
143
144     return crc;
145 }

```

Figura 3.5 - Formula para o cálculo do CRC

Para isso e após implementação das mesmas na aplicação, são chamadas determinadas funções responsáveis por efetuar a conversão dos dados contidos na trama em unidades do sistema internacional. Deste modo são mais perceptíveis os valores recolhidos pelas motes.

3.7.2- Tecnologias de envio de dados

Tal como no caso das mote Crossbow, as tramas de dados recebidas pela FOX Board são colocadas num vetor de dados temporário de modo a ser possível delimitar cada uma delas recorrendo à análise do primeiro byte, o cabeçalho, e o ultimo byte com o valor do CRC. A grande vantagem na análise destas tramas comparativamente às recebidas da Crossbow é o fato de estas serem de tamanho fixo. Assim sendo após detetar o cabeçalho da trama basta verificar se em determinadas posições seguintes a essa posição se encontra o CRC com o valor correto.

Após delimitação da trama e de modo a interpretar os dados nela contidos, foi implementado o protocolo NetCare numa aplicação em linguagem C. A integração das motes com a plataforma pressupõe ter uma destas conectada à FOX Board através da porta USB. Esta faz vários pedidos à FOX Board, isto é, a determinados períodos de tempo envia uma trama de dados, trama essa que é interpretada pela FOX Board. A primeira análise a efetuar à trama será verificar se o segundo byte se trata de um pedido de aquisição de dados por parte da plataforma (GET), de um pedido de configuração no modo de aquisição dos dados (SET) ou informação de erro na aquisição de um bio sinal (ERROR). A análise seguinte será ao terceiro byte que compõe a trama, onde se encontra a informação relativa a que bio sinal efetuar a ação pretendida (ECG, Oximetry, Blood Pressure, Pulse Rate).

36 Etapas de desenvolvimento e Implementação

Hexa	Hexa	45	4F	42	50	48	41
	Types	E	O	B	P	H	A
47	Get (G)	ECG	Oximetry	Blood Pressure	Pulse Rate	All (Reads 1 second of ECG data)	All data but ECG
53	Set (S)	ECG	Oximetry	Blood Pressure	Pulse Rate		
45	Error (E)	ECG	Oximetry	Blood Pressure	Pulse Rate	All (Reads 1 second of ECG data)	All data but ECG

Figura 3.6 - Tabela resumo do protocolo desenvolvido para o projeto NetCare

A partir do momento que os dados são adquiridos pela FOX Board, estes são enviados através da Tmote efetuando o roteamento pelas várias motes que compõe a rede local.

```

336 CRC = crc(definit, 6, 0);
337 if (CRC == definit[5]) {
338     for(j=0; j<10; j++){
339         switch(definit[j])
340         {
341             case 'G': get = 1; break;
342             case 'S': set = 1; break;
343             case 'E': erro = 1; break;
344             default : wrong = 1;
345         }
346
347
348         if(get == 1) {
349             switch(definit[j+2])
350             {
351                 case 'E': ecg = 1;
352                     n = write(tty_fd, ECG, sizeof(ECG));
353                     if (n < 0) {
354                         printf ("write error %d %s\n", errno, strerror(errno));
355                         notsdata = 1;
356                     }
357                     break;
358
359                 case 'O': oxi = 1;
360                     n = write(tty_fd, OXI, sizeof(OXI));
361                     if (n < 0) {
362                         printf ("write error %d %s\n", errno, strerror(errno));
363                         notsdata = 1;
364                     }
365                     break;

```

Figura 3.7 - Detecção dos pedidos efetuados pela mote Tmote sky alocada à FOX Board

A tecnologia Bluetooth foi outra tecnologia sem fios, em parte, implementada. Devido às limitações do sistema operativo presente neste modelo da FOX Board (Linux debian 2.6.8-2-386), apenas foi possível executar um protocolo, OBEX (*Object Exchange Protocol*), referente à última camada da pilha de protocolos, *Application Layer*. Como o nome indica, OBEX, trata-se de um protocolo de camada de sessão para intercâmbio de objetos entre dispositivos.

Uma vez que se constatou esta limitação na implementação da tecnologia Bluetooth, o uso desta limitou-se ao envio dos dados recolhidos e armazenados na plataforma através de um arquivo de texto (.txt).

Ainda no que diz respeito às tecnologias de comunicação sem fio, houve uma tentativa de implementar a tecnologia Wi-Fi. Para isso, recorreu-se a um adaptador Wireless USB Linksys e ao manual de implementação de um adaptador Wi-Fi na FOX Board, existente na página web da ACME systems (<http://foxlx.acmesystems.it/?id=705>).

3.8 - Desenvolvimento da camada de abstração

De um modo geral, não fosse a existência de uma camada de abstração a correr na plataforma e esta seria uma simples porta de ligação, isto é, os dados recolhidos seriam reencaminhados diretamente para a rede.

Para o desenvolvimento da camada de abstração, e após identificar as principais funcionalidades de alto nível, procedeu-se à criação de uma rotina de pesquisa de interfaces, através da execução de um processo em paralelo com a própria aplicação. Embora o microprocessador presente na FOX Board, etrax 100 LX, tenha dois temporizadores de 8-bits com sinal de relógio programável de 381Hz a 12.5MHz, temporizadores de 300Hz a 1843kHz e ainda um *watchdog*, recorreu-se ao uso de um ciclo (*while*) infinito, que é hibernado por um determinado tempo, definido pelo utilizador. Este ciclo é executado numa thread onde são chamados vários comandos de modo a verificar a existência de interfaces disponíveis alocadas à plataforma.

38 Etapas de desenvolvimento e Implementação

```
115 void * pesquisa (){
116
117     while (1){
118
119         printf("## A verificar a existencia de Bluetooth\n");
120
121         if (system("cdBluez-start") == 0){
122             system("clear");
123             printf("## Existe Bluetooth\n");
124             blu = 1;
125         }
126         else{
127             system("clear");
128             printf("## Bluetooth não está disponível\n");
129             blu = 0;
130         }
131
132         /**
133         ***
134         **/
135
136         if ((wifi==0) && (zig==0) && (blu==1)){
137
138             system("hcitool scan");
139             //Inicio de transferencia de dados pelo protocolo OBEX
140             system("ussp-push 0C:DD:EF:57:47:67:@9 file.txt NAME_FILE.txt");
141             if (system("ussp-push 0C:DD:EF:57:47:67:@9 file.txt NAME_FILE.txt")==0){
142                 transB = 1; //transferencia foi bem sucedida
143             }
144             else{
145                 transB = -1; //transferencia não foi bem sucedida
146             }
147
148             sleep (TEMPO_ESPERA);
149         }
150         pthread_exit (NULL);
151     }
```

Figura 3.8 - Rotina de pesquisa de tecnologias de comunicação sem fios disponíveis (Bluetooth a título de exemplo)

O envio dos dados recebidos na plataforma é feito recorrendo à execução de uma thread que é responsável por ler esses mesmos dados que se encontram no vetor temporário e encaminhá-los através da tecnologia sem fios disponível e selecionada para o efeito.

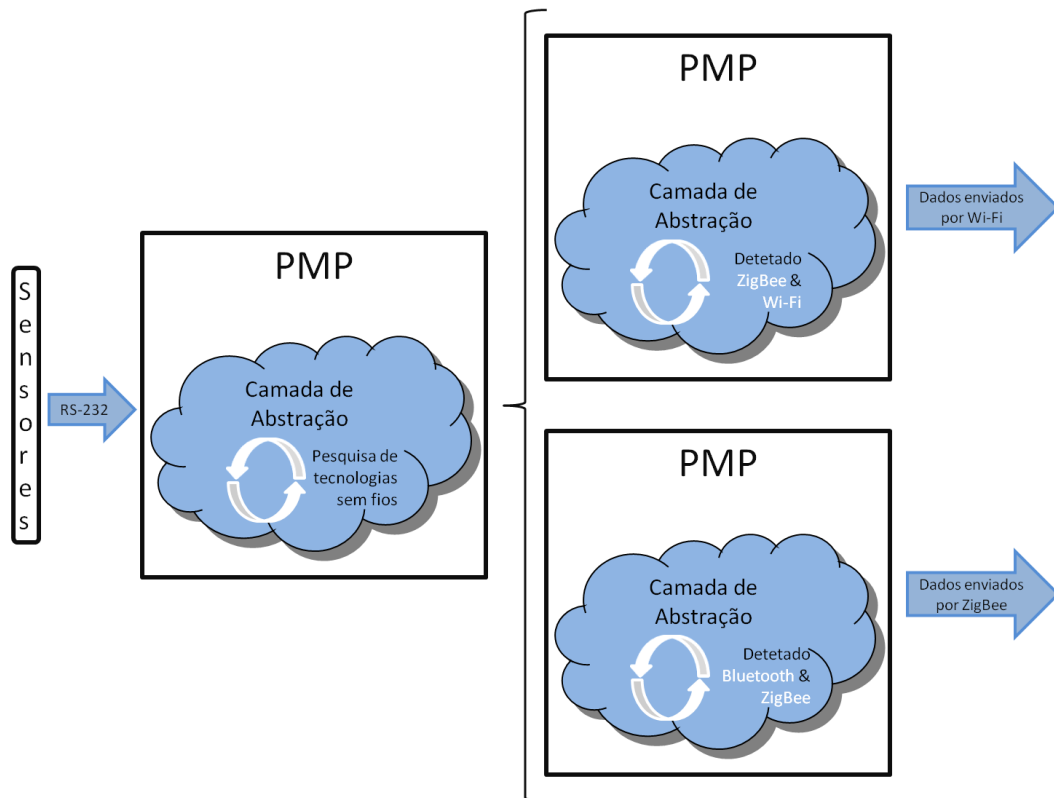


Figura 3.9 - Figura ilustrativa do modo de funcionamento da camada de abstração no momento de escolher uma tecnologia sem fios em detrimento de outra para envio dos dados recolhidos

No caso de não haver disponibilidade de tecnologias sem fios no local os dados recolhidos são guardados com uso a outra thread que é responsável por arquivar os dados num arquivo de texto para posterior envio.

Desta forma é dada a devida resposta às funcionalidades de alto nível identificadas: deteção das interfaces disponíveis, receção e envio dos dados.

Capítulo 4

Teste e resultados

4.1 - Introdução

Com o desenrolar do projeto e para validar implementações que foram sendo desenvolvidas, houve a necessidade constante de efetuar testes. No entanto os testes que são descritos de seguida, são testes de integração, isto é, testes de operabilidade entre a plataforma e os módulos que se encontram quer a montante, módulo de aquisição de bio sinais, quer a jusante desta.

4.2 - Comunicação PMP- motes Crossbow MTS300

Para se proceder aos testes de recolha e comunicação dos dados entre a FOX Board e as motes Crossbow MTS300, foram colocadas três motes espalhadas numa determinada área no interior de um edifício. Embora desenvolvido o protocolo ao nível da monitorização da luminosidade, acústica e nível de energia na bateria das motes, os testes efetuados foram apenas referentes à monitorização da temperatura, uma vez que aquilo que é pretendido é testar a comunicação e receção dos dados numa rede local.

Com um *gateway* conectado à FOX Board, os dados são recebidos via porta série e convertidos para o sistema internacional de unidades, através de uma fórmula de cálculo fornecido no protocolo das motes. À medida que os dados vão sendo recebidos na FOX Board, e após a sua conversão, estes são impressos no ecrã da consola, confirmando-se assim a receção destes.

Outro teste efetuado, diretamente relacionado com a receção dos dados nas motes Crossbow, foi a integração destes com uma *Framework*, responsável pelo desenvolvimento de aplicações específicas para integrar e interagir com redes de sensores sem fios. Para que tal

seja possível, é necessário que os dados sejam impressos no arquivo de texto com os seguintes campos, assim ordenados: identificação da mote, identificação do dado monitorizado, valor do dado monitorizado e hora da monitorização. A separação dos campos é feita recorrendo à utilização do caracter ':':

```
289
290     if((buffer[j][11] == 0x03) || (buffer[j][11]==0x02) || (buffer[j][11]==0x01)) {
291
292     FILE *file;
293     file = fopen ("Dados.txt", "a+");
294
295         ID = buffer[j][11];
296
297         fprintf(file, "%d:Temperature:%.1f:%s", ID, TEMPERATURA, ctime(&currentTime));
298         x--;
299
300     fprintf(file, "\n");
301     fclose(file);
302
```

Figura 4.1 - Código responsável por imprimir os dados recolhidos num arquivo de texto

Uma vez os dados colocados na aplicação desenvolvida através da Framework WiSe, identificando a localização das motes na planta do edifício é possível visualizar graficamente os valores por estas captados e associar à sua localização no mapa.

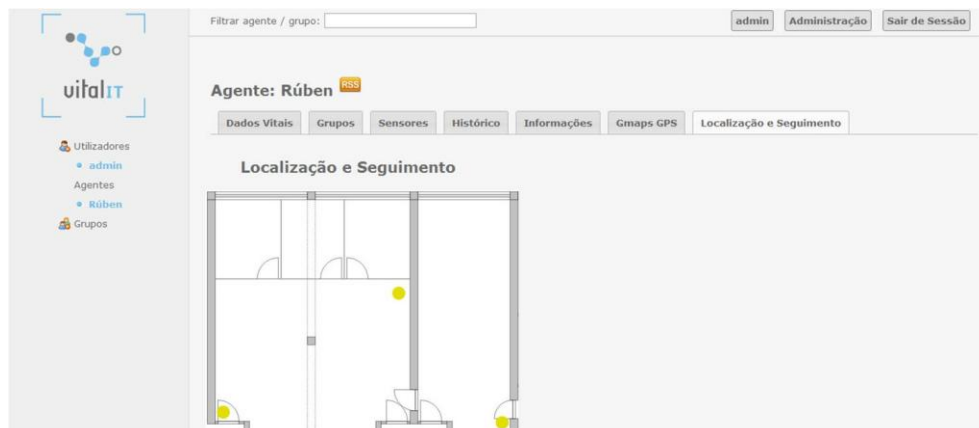


Figura 4.2 - Visualização gráfica da posição das motes

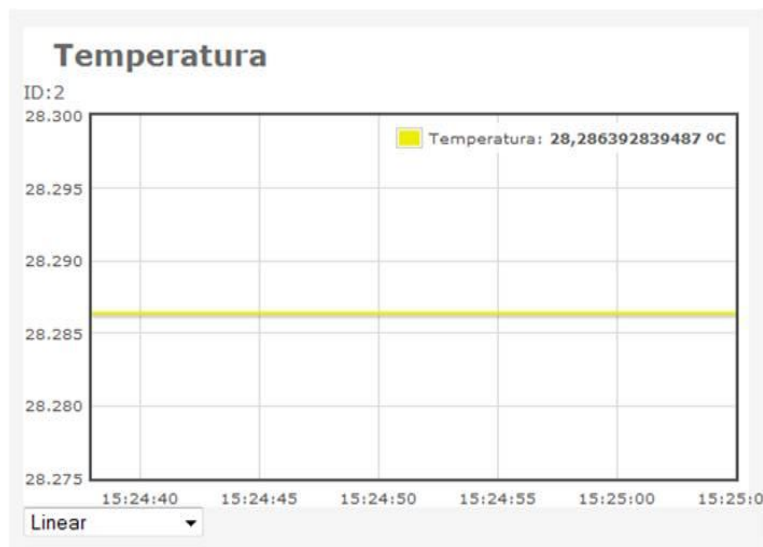


Figura 4.3 - Temperatura registada por uma mote

4.3 - Comunicação com as motes Tmote sky

Após a implementação do protocolo NetCare na plataforma, procedeu-se a execução de testes tanto ao nível de funcionamento como ao nível da integração da plataforma com a aplicação CareSense desenvolvida no âmbito do projeto NetCare.

Por forma a estabelecer uma comunicação de teste, é aplicada uma mote na FOX Board, pré-programada para efetuar pedidos a determinados intervalos de tempo, e outra mote colocada na estação base, neste caso o computador.

No computador é executada a aplicação CareSense sendo necessário efetuar configurações prévias referentes à porta de entrada e ao tipo de mote utilizada. Após compilação, transferência e execução da aplicação na FOX Board, dá-se início à transferência de dados. As tramas de dados, enviadas a partir da FOX Board, são respostas aos pedidos efetuados pela mote que se encontra alocada à plataforma. A resposta a esses pedidos é visualizada com recurso à aplicação CareSense que disponibiliza os gráficos respetivos de cada um dos bio sinais assim que essa informação é recebida na estação base.

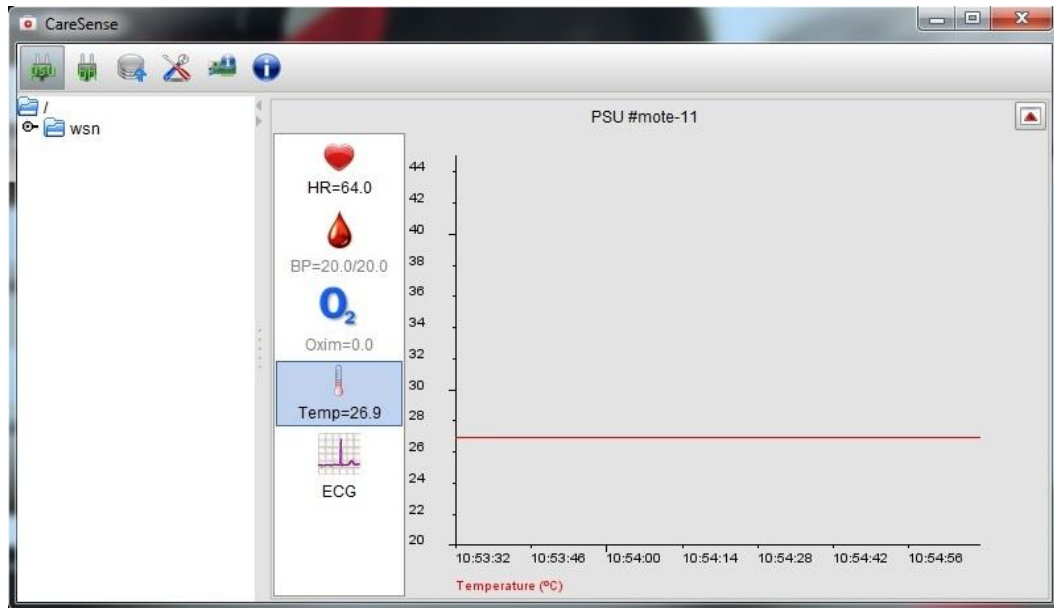


Figura 4.4 - Visualização da temperatura, através da aplicação CareSense, enviada pela FOX Board

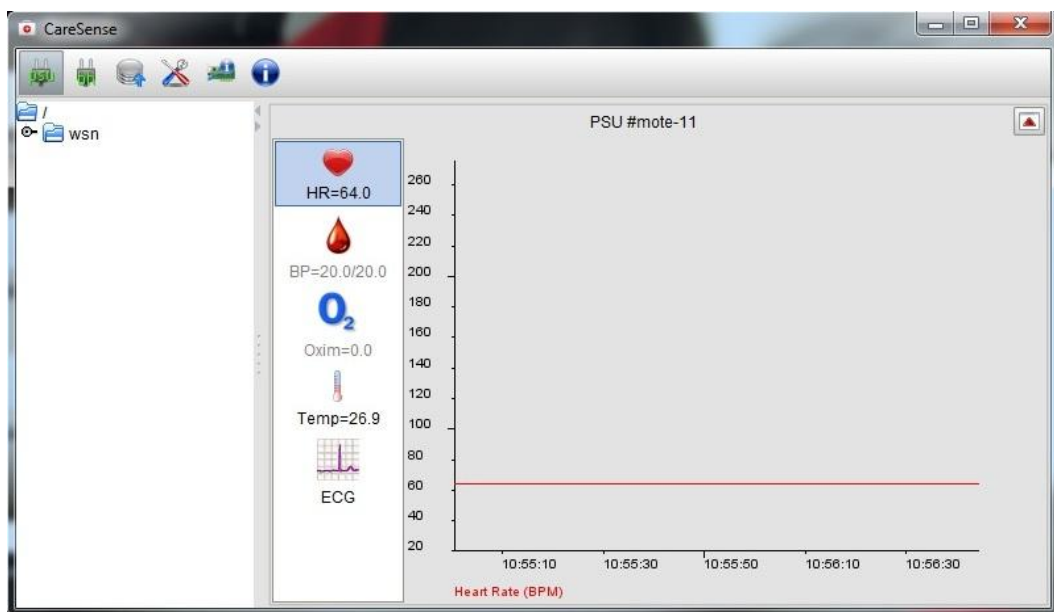


Figura 4.5 - Visualização da frequência cardíaca, através da aplicação CareSense, enviada pela FOX Board

44 Teste e resultados

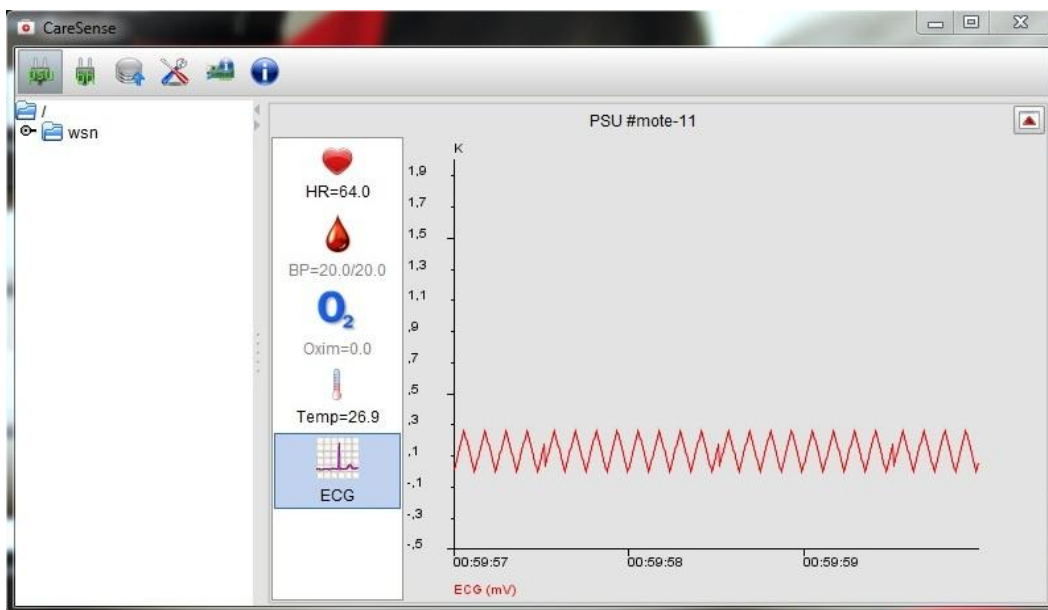


Figura 4.6 - Visualização da atividade elétrica, através da aplicação CareSense, enviada pela FOX Board

Com recurso à aplicação Docklight, ferramenta de análise e simulação de protocolos de comunicação série de dados binários, foi possível monitorizar a comunicação entre a mote conectada à plataforma de monitorização e a estação base, neste caso o computador. Como é possível verificar na figura abaixo, os pedidos efetuados à FOX Board são impressos na consola e a resposta enviada pela plataforma é visualizada no Docklight.

Assim sendo, é possível verificar e validar os dados enviados pela FOX Board aos pedidos efetuados pelas motes.

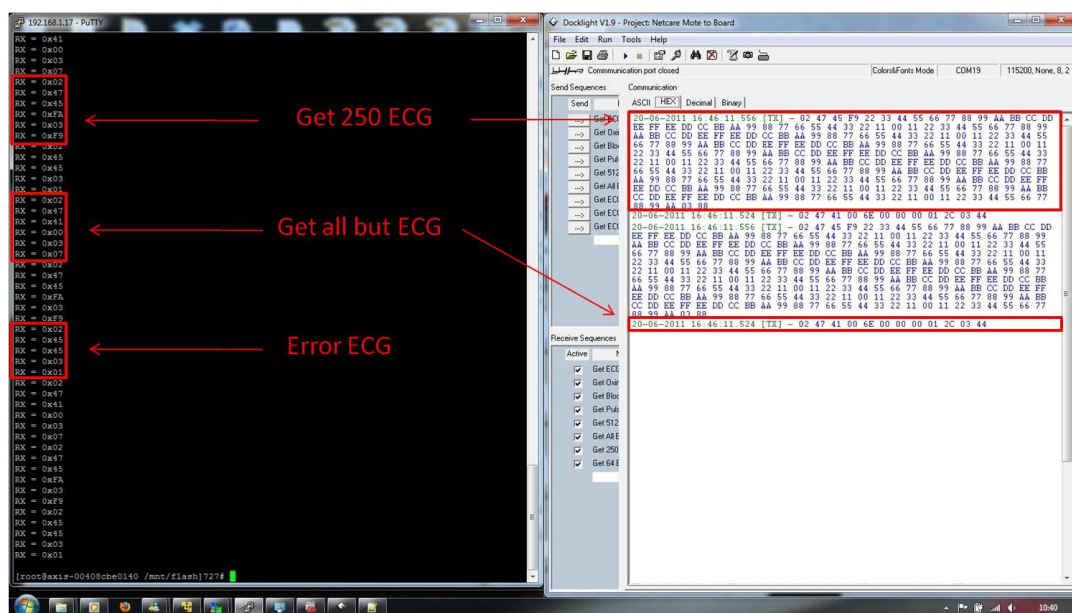


Figura 4.7 - Visualização dos dados enviados a partir da FOX Board, em resposta aos pedidos feitos pela mote Tmote sky alocada na FOX Board

4.4 - Envio de dados por Bluetooth

Por forma a testar o envio de dados através da tecnologia Bluetooth, foi necessário inicialmente implementar uma imagem do sistema operativo, com as funcionalidades da tecnologia Bluetooth, na memória flash da FOX Board. Esta imagem é fornecida pela ACME systems, no seu *site* (<http://foxl.acmesystems.it/?id=112>).

Com um dongle Bluetooth conectado à FOX Board executa-se o comando Linux na consola responsável por fazer uma busca de dispositivos com Bluetooth ativo no local (**# hcitool scan**). Detetados os dispositivos, são apresentados na consola o nome e endereço destes, endereço este que será utilizado na identificação do dispositivo para o qual será enviado o arquivo de texto com os dados recebidos na plataforma.

```

192.168.1.17 - PuTTY
[root@axis-00408cbe0140 /mnt/flash]693# ls
Dados.txt  etc          root
[root@axis-00408cbe0140 /mnt/flash]693# cdBluez-start
Using /lib/modules/2.6.15/kernel/net/bluetooth/bluetooth.ko
insmod: cannot insert `/lib/modules/2.6.15/kernel/net/bluetooth/bluetooth.ko': File exists (-1)
: File exists
Using /lib/modules/2.6.15/kernel/net/bluetooth/l2cap.ko
insmod: cannot insert `/lib/modules/2.6.15/kernel/net/bluetooth/l2cap.ko': File exists (-1): File exists
Using /lib/modules/2.6.15/kernel/net/bluetooth/rfcomm/rfcomm.ko
insmod: cannot insert `/lib/modules/2.6.15/kernel/net/bluetooth/rfcomm/rfcomm.ko': File exists (-1): File exists
Using /lib/modules/2.6.15/kernel/drivers/bluetooth/hci_usb.ko
insmod: cannot insert `/lib/modules/2.6.15/kernel/drivers/bluetooth/hci_usb.ko': File exists (-1): File exists
[root@axis-00408cbe0140 /mnt/flash]693# hcitool scan
Scanning ...
00:1A:89:0A:90:45      Kinodo
4C:ED:DE:0B:6A:A7      ELSINHA
0C:DD:EF:57:47:67      Hugo
00:07:80:99:57:84      ARDUINOBT
00:26:B6:80:3B:6C      VITORDIAS
[root@axis-00408cbe0140 /mnt/flash]693# ussp-push 0C:DD:EF:57:47:67@9 Dados.txt Dados.txt
name=Dados.txt, size=116
Local device 00:15:83:49:50:00
Remote device 0C:DD:EF:57:47:67 (9)
Connection established
[root@axis-00408cbe0140 /mnt/flash]693#

```

Figura 4.8 - Sequencia de comandos para envio de arquivos por Bluetooth

Esta sequência de ações foi também testada com sucesso na execução da camada de abstração.

4.5 - Integração da PMP com módulo de aquisição de bio sinais

Com recurso ao protocolo desenvolvido para o projeto NetCare foi feito um teste de integração entre a FOX Board, o módulo de aquisição de bio sinais e as motes Tmote.

Muito embora a mote alocada à FOX Board, já se encontre programada para efetuar pedidos de sinais vitais, tais como: atividade elétrica do coração, saturação de oxigénio no sangue, tensão arterial e frequência cardíaca; o módulo que se encontra em desenvolvimento

46 Teste e resultados

apenas é capaz de dar informação relativa à atividade elétrica do coração, a partir de um eletrocardiograma, e os níveis de saturação de oxigénio no sangue.

Mais uma vez a comunicação implementada e testada entre a FOX Board e o módulo de aquisição de sinais vitais foi a comunicação por porta série.

Testada a receção dos dados, procedeu-se à verificação do conteúdo das mensagens. Para isso foi efetuado novamente o teste acima descrito, no tópico 5.3, de comunicação entre as motes Tmote sky e a estação base, com a visualização dos conteúdos na aplicação Caresense.

Capítulo 5

Conclusões e Futuros Desenvolvimentos

5.1 - Conclusões

Com a evolução das tecnologias de comunicação é possível projetar sistemas de monitorização cada vez mais complexos envolvendo cada vez mais agentes e dispositivos na mesma rede. Nesse sentido, um dos objetivos proposto para este projeto era o de implementar diversas tecnologias sem fios capazes de estabelecer comunicação bidirecional com outros dispositivos, reencaminhando os dados recolhidos pelos sensores. Este reencaminhamento deveria ter em conta as tecnologias de comunicação sem fios disponíveis no local fazendo a posterior seleção de uma destas de acordo com uma ordem de preferência pré-definida.

Ao nível da rede PAN será vantajoso a implementação da tecnologia ZigBee em oposição à tecnologia Bluetooth. Embora só tenha sido possível implementar um protocolo (OBEX) da pilha de protocolos que compõe a tecnologia Bluetooth foi possível constatar, após estudo e pesquisa, a inflexibilidade desta. Tal facto, não é abonatório quando é pretendido uma rede local capaz de se adaptar a fatores como o nível de energia dos dispositivos e a taxa de envio de dados, variáveis. Foi possível concluir que o uso da tecnologia ZigBee atende a todos os requisitos que um projeto de alta qualidade exige, com serviços de curta distância de modo bidirecional, com a capacidade de potencializar e otimizar o funcionamento de toda a rede, sendo possível implementar protocolos direcionados à gestão de energia. Com a realização dos testes concluiu-se também que esta tecnologia apresenta uma grande fiabilidade na entrega das mensagens e uma boa potência do sinal, sendo o seu alcance superior à da tecnologia Bluetooth.

A tecnologia Bluetooth poderá ter um potencial uso num projeto desta natureza, possibilitando o envio dos dados recolhidos pelos sensores até à PMP, servindo-se do protocolo RFCOMM definido na pilha de protocolos da tecnologia Bluetooth. Este protocolo

prevê a transmissão de dados binários e sinais de controlo, tal como sucedia na transmissão de dados por porta-série (RS-232). Neste sentido foram feitas várias tentativas para estabelecer uma ligação entre a plataforma e dispositivos de monitorização já desenvolvidos e colocados à venda no mercado, como é o caso do sensor *BioHarness BT* da *Zephyr*. Tais tentativas foram infrutíferas, o que não é de todo uma surpresa, uma vez que os mercados relacionados com a área da saúde, em sucessiva expansão, geram cada vez mais lucros, levando as empresas a salvaguardarem as suas posições no mercado protegendo os seus produtos de possíveis cópias ou futura integração noutros sistemas.

Este projeto contribuiu para a integração da tecnologia ZigBee na PMP, através de duas redes de motes, e ainda a estruturação e desenvolvimento inicial da camada de abstração.

5.2 - Dificuldades e futuros desenvolvimentos

Ao longo do projeto foi possível identificar várias limitações dos dispositivos, nomeadamente, na FOX Board e nas motes Crossbow.

Uma vez que a FOX Board utilizada no projeto (LX832) é um produto descontinuado, não foi possível, em determinadas fases do projeto, obter a assistência devida por parte dos fornecedores. Tal facto veio-se a verificar aquando da implementação da tecnologia Bluetooth, concluindo-se que apenas seria possível implementar um dos protocolos (OBEX) existentes na pilha de protocolos da tecnologia Bluetooth.

Na integração das motes Crossbow não foi possível calcular corretamente o CRC da trama recebida, utilizando a fórmula de cálculo fornecida pelo distribuidor destas. Tal facto veio condicionar o plano proposto inicialmente para o projeto uma vez que com a impossibilidade de calcular o CRC tornou-se inexecutável validar o conteúdo das mensagens trocadas impossibilitando assim o envio de mensagens no sentido PMP-motes.

No desenvolvimento da camada de abstração foi previsto o encaminhamento dos dados através de várias tecnologias de comunicação sem fios, dependendo do destino desses. Um desses destinos seria um *WebService*, destinado a fornecer os dados recolhidos pelos sensores na Web. Para que tal fosse possível era necessário implementar na FOX Board uma *Framework* em linguagem de programação C, constatando-se que só seria possível ser desenvolvida em linguagem de programação C# e C++. Este fator e a limitação de memória por parte da FOX Board, impossibilitou o desenvolvimento dessa mesma *Framework*.

Algo que não foi tido em conta durante a realização do projeto foi o envio de alertas por parte da PMP. Deverão ser analisados os valores dos bio sinais que chegam à PMP e após análise destes deverá ser enviado uma mensagem de alerta, caso se verifique um valor fora da gama de valores considerada como normal. Se, se verificar o despoletar do envio de uma mensagem de alerta deverá ser de imediato selecionada a tecnologia de comunicação sem fios que apresente as melhores condições para entrega dessa mensagem.

Apesar de ter sido possível desenvolver parte das funcionalidades propostas, estas ficaram limitadas às características do módulo escolhido para o projeto. Num futuro desenvolvimento do projeto será porventura vantajoso a escolha de um módulo com melhores capacidades e menores limitações. Da pesquisa efetuada anteriormente ao desenvolvimento do projeto e após este, é possível garantir que uma boa solução de futuro será utilizar o módulo *SBC8100*.

Uma vez terminado o desenvolvimento da PMP será necessário avançar com a certificação do dispositivo, segundo as normas apresentadas no capítulo 2, para futura utilização deste nos cenários definidos.

A utilização da PMP pode não estar limitada apenas ao uso pessoal por parte de um indivíduo. É possível, num futuro desenvolvimento da PMP, proceder-se à aplicação de algoritmos de referenciação para que esta seja utilizada por equipas de salvamento e primeiros socorros que se vejam confrontadas com cenários inóspitos e de difícil orientação.

Referências

- Budinger, Thomas F. 2003. Biomonitoring with wireless communications. *Annual Review of Biomedical Engineering* 5 (Compendex):383-412.
- Dong, Jianwei, Shi Zhang, and Xiaonan Jia. 2008. A Portable Intelligent ECG Monitor based on wireless internet and embedded system technology. Paper read at BioMedical Engineering and Informatics: New Development and the Future - 1st International Conference on BioMedical Engineering and Informatics, BMEI 2008, May 27, 2008 - May 30, 2008, at Sanya, Hainan, China.
- Dong, Jing, Kurt Ackermann, and Cristina Nita-Rotaru. 2009. Secure group communication in wireless mesh networks. *Ad Hoc Networks* 7 (Compendex):1563-1576.
- Fletcher, Richard Ribon, Kelly Dobson, Matthew S. Goodwin, Hoda Eydgahi, Oliver Wilder-Smith, David Fernholz, Yuta Kuboyama, Elliott Bruce Hedman, Ming-Zher Poh, and Rosalind W. Picard. 2010. iCalm: Wearable sensor and network architecture for wirelessly communicating and logging autonomic activity. *IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE* 14 (Compendex):215-223.
- Fraile, Juan A., Javier Bajo, Juan M. Corchado, and Ajith Abraham. 2010. Applying wearable solutions in dependent environments. *IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE* 14 (Compendex):1459-1467.
- Hung, K., Y. T. Zhang, and B. Tai. 2004. Wearable medical devices for tele-home healthcare. Paper read at Conference Proceedings - 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2004, September 1, 2004 - September 5, 2004, at San Francisco, CA, United states.
- INFARMED. 2011. *Infarmed - Autoridade Nacional do Medicamento e Produtos de Saúde I.P.* 2011 [cited 1 de Fevereiro 2011]. Available from http://www.infarmed.pt/portal/page/portal/INFARMED/DISPOSITIVOS_MEDICOS.
- INOVAMAI. 2011. *NetCare - Telemetria médica para cuidados de saúde em contínuo: aplicação de redes de sensores wireless aos serviços de saúde* 2008 [cited 13 de Junho 2011]. Available from <http://www.inovacao.net/NetCare/>.
- Kang, Jae Min, Taiwoo Yoo, and Hee Chan Kim. 2006. A wrist-worn integrated health monitoring instrument with a tele-reporting device for telemedicine and telecare. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 55 (Compendex):1655-1661.
- Ko, Jeonggil, Chenyang Lu, Mani B. Srivastava, John A. Stankovic, Andreas Terzis, and Matt Welsh. 2010. Wireless sensor networks for healthcare, at 445 Hoes Lane / P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, United States.
- Lamprinos, I. E., A. Prentza, G. Nokas, E. Dermatas, A. Tsoukalis, and D. Koutsouris. 2004. Design of wireless network of sensors for continuous monitoring of vital biosignals. Paper read at Conference Proceedings - 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2004, September 1, 2004 - September 5, 2004, at San Francisco, CA, United states.
- Li, Tansheng. 2010. A wireless sensor network of human physiological signals. *COMPEL - The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering* 29 (Compendex):423-430.
- Lorincz, Konrad, David J. Malan, Thaddeus R. F. Fulford-Jones, Alan Nawoj, Antony Clavel, Victor Shnayder, Geoffrey Mainland, Matt Welsh, and Steve Moulton. 2004. Sensor networks for emergency response: Challenges and opportunities. *IEEE Pervasive Computing* 3 (Compendex):16-23.
- Monton, E., J. F. Hernandez, J. M. Blasco, T. Herve, J. Micallef, I. Grech, A. Brincat, and V. Traver. 2008. Body area network for wireless patient monitoring. *IET Communications* 2 (Compendex):215-222.
- Moron, M. J., J. R. Luque, A. A. Botella, E. J. Cuberos, E. Casilari, and A. Diaz-Estrella. 2007. J2ME and smart phones as platform for a Bluetooth Body Area Network for Patient-telemonitoring. Paper read at 29th Annual International Conference of IEEE-EMBS,

- Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC'07, August 23, 2007 - August 26, 2007, at Lyon, France.
- Niyato, Dusit, Ekram Hossain, and Sergio Camorlinga. 2009. Remote patient monitoring service using heterogeneous wireless access networks: Architecture and optimization. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 27 (Compendex):412-423.
- Rashvand, H. F., V. Traver Salcedo, E. Monton Sanchez, and D. Iliescu. 2008. Ubiquitous wireless telemedicine. *IET Communications* 2 (Compendex):237-254.
- Sarijari, Mohd Adib B., Rozeha A. Rashid, Mohd Rozaini Abd Rahim, and Nur Hija Mahalin. 2008. Wireless home security and automation system utilizing ZigBee based multi-hop communication. Paper read at IEEE 2008 6th National Conference on Telecommunication Technologies and IEEE 2008 2nd Malaysia Conference on Photonics, NCTT-MCP 2008, August 26, 2008 - August 28, 2008, at Putrajaya, Malaysia.
- Shaosheng, Dai, and Zhang Yue. 2006. A wireless physiological multi-parameter monitoring system based on mobile communication networks. Paper read at 19th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems, CBMS 2006, June 22, 2006 - June 23, 2006, at Salt Lake City, UT, United states.
- Smalls, Jordan, Yue Wang, Xi Li, Zehuang Chen, and K. Wendy Tang. 2009. Health monitoring systems for massive emergency situations. Paper read at 2009 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference, LISAT 2009, May 1, 2009 - May 1, 2009, at Farmingdale, NY, United states.
- SYSTEMS, ACME. 2011. *FOX Board LX832 a complete Linux system in just 66 x 72 mm* 2011 [cited 10 Junho 2011 2011]. Available from <http://foxl.acmesystems.it/>.
- Varshney, Upkar. 2008. A framework for supporting emergency messages in wireless patient monitoring. *Decision support systems* 45 (4):981-996.
- Varshney, Upkar, and Sweta Sneha. 2006. Patient monitoring using ad hoc wireless networks: Reliability and power management. *IEEE Communications Magazine* 44 (Compendex):49-55.
- Virone, G., A. Wood, L. Selavo, Q. Cao, L. Fang, T. Doan, Z. He, R. Stoleru, S. Lin, and J. A. Stankovic. 2006. An assisted living oriented information system based on a residential wireless sensor network. Paper read at 1st Transdisciplinary Conference on Distributed Diagnosis and Home Healthcare, D2H2 2006, April 2, 2006 - April 4, 2006, at Arlington, VA, United states.
- Yuan, Cheng-Wen, Hai-Rui Wang, and Jun-Ying He. 2010. Remote monitoring system based on MC9S12NE64 and Z-WAVE technology. Paper read at 2010 International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment, ICEEE2010, November 7, 2010 - November 9, 2010, at Henan, China.
- Zhang, Zaosheng, and Tinglei Huang. 2009. An intelligent patient monitoring system for home application. Paper read at 3rd International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, WGEN 2009, October 14, 2009 - October 17, 2009, at Guilin, China.