

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
ESPECIALIZAÇÃO EM TELEINFORMÁTICA E REDES DE COMPUTADORES**

**ANDRÉ LUIS SAGANSKI COSTA CLARO**

**TECNOLOGIAS SEM FIO PARA MONITORAMENTO REMOTO DE  
PACIENTES**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA  
2011**

**ANDRÉ LUIS SAGANSKI COSTA CLARO**

**TECNOLOGIAS SEM FIO PARA MONITORAMENTO REMOTO DE  
PACIENTES**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de especialista do programa de Pós-Graduação em Teleinformática e Redes de Computadores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Msc. Christian Carlos Souza Mendes

**CURITIBA  
2011**

ANDRÉ LUIS SAGANSKI COSTA CLARO

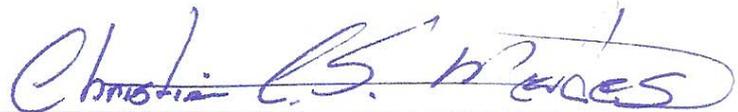
**TECNOLOGIAS SEM FIO PARA MONITORAMENTO REMOTO DE  
PACIENTES**

Monografia apresentada à Banca Examinadora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como exigência parcial para obtenção do título de especialista do programa de Pós-Graduação em Teleinformática e Redes de Computadores

Orientador: Prof. Msc. Christian Carlos Souza Mendes

NOTA: 9,5 (NOVE INTEIROS E  
CINCO DÉCIMAS)

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Msc. Christian Carlos Souza Mendes  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Prof. Dr. Walter Godoy Júnior  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Curitiba, 12 de AGOSTO de 2011.

Aos meus pais, Nadir e Gilberto, por tudo que são e pelo que fizeram por mim durante todos esses anos.

À Sylvia, por sempre estar ao meu lado me trazendo seu amor e sua alegria.

Aos meus amigos, que independente do tempo e da distância, sempre se fizeram presentes.

A Deus ...

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de começar agradecendo à minha família, em especial minha mãe e meu pai, que, apesar de todos os problemas pelos quais passamos nos últimos meses, sempre estiveram dispostos a se sacrificar um pouco mais para que eu pudesse realizar esse trabalho.

Agradeço a minha namorada Sylvia, que sempre esteve ao meu lado, por seu carinho e toda sua ajuda, dando seu apoio e compreendendo minha ausência quando foi necessário. Ela me auxiliou muito mais do que acredita ter feito!

Agradeço também aos professores da Especialização, em especial ao Professor Christian por ter aceitado meu convite para orientação e ter me guiado durante o desenvolvimento de todo o projeto. Agradeço imensamente sua dedicação!

Agradeço também aos meus amigos e colegas de trabalho pela ajuda, compreensão e pelos conselhos.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão de literatura sobre o tema “Tecnologias Sem Fio para Monitoramento Remoto de Pacientes”. Inicialmente apresenta conceitos de Saúde Eletrônica e demonstra onde o monitoramento remoto está inserido na área. Discute questões como a mobilidade e apresenta o conceito de monitoramento remoto móvel e a utilização de redes sem fio para tal. Apresenta aspectos técnicos sobre o tema principal discutindo topologia das redes e, por consequência, as chamadas redes corporais, seus requisitos técnicos e os avanços tecnológicos necessários para cumpri-los. Ainda em relação aos aspectos técnicos, relaciona as tecnologias comumente utilizadas na área incluindo a nova especificação IEEE 802.15.6 e o promissor conceito de rádios cognitivos. Apresenta ainda, como estudo de caso, quatro projetos de monitoramento remoto de pacientes utilizando tecnologias sem fio. Discute, na seqüência, questões controversas como a privacidade do paciente e a segurança dos dados em sistemas de saúde eletrônica, em especial, aqueles relacionados ao tema do trabalho. Traz como considerações finais uma visão de como o tema proposto pode beneficiar os pacientes e alterar os tratamentos de saúde no futuro e quais as linhas de pesquisa mais promissoras que devem ser seguidas na área.

**Palavras-chave:** Saúde eletrônica. Mobilidade. Monitoramento remoto de pacientes. Tecnologias sem fio. Redes corporais.

## ABSTRACT

This work presents a literature review on “Wireless Technologies for Remote Patients Monitoring”. At first it introduces the concept of e-healthcare and demonstrates how remote monitoring is inserted in the area. Discusses issues such as mobility and introduces the concept of mobile remote monitoring and the use of mobile wireless networks for this. Presents technical aspects of the main theme through discussion of network topology and, consequently, calls body area networks, its technical requirements and technological advances needed to achieve them. Also concerning the technical aspects relates technologies commonly used in the area including the new standard IEEE 802.15.6 and the promising concept of cognitive radios. It also presents, as a case study, four projects of remote patient monitoring using wireless technologies. Discusses, in turn, issues such as patient privacy and data security in e-healthcare systems, particularly those related to the theme. In the conclusion brings a vision of how the proposed topic can benefit patients and promote changes on the health care in the future and which the most promising lines of research that should be followed in the area.

**Keywords:** E-Healthcare. Mobility. Remote Patients Monitoring. Wireless Technologies. Body area networks.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura de um Sistema Móvel de Saúde Eletrônica .....	19
Figura 2 – Exemplo de Topologia Multicamadas em Sistemas de Monitoramento Remoto .....	21
Figura 3 – Exemplo de Rede Corporal de Sensores .....	22
Figura 4 – Taxa de Dados e Consumo: Comparação Entre as Possíveis Tecnologias para Redes Corporais .....	33
Figura 5 – Arquitetura do Sistema AlarmNet.....	39
Figura 6 – Arquitetura do Projeto MobiHealth.....	41
Figura 7 – Visão Geral do Sistema de Telemedicina da Tunstall Healthcare .....	43

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos Técnicos Para Redes Corporais de Sensores em Determinadas Aplicações.....	23
Quadro 2 - Requisitos Técnicos Para Redes de Sensores Corporais.....	24
Quadro 3 - Características das Possíveis Faixas de Frequências para Redes Corporais Sem Fio.....	25
Quadro 4 – Características das Possíveis Tecnologias Utilizadas em Redes Corporais Sem Fio.....	31
Quadro 5 – Méritos e Deméritos das Possíveis Tecnologias Utilizadas em Redes Corporais Sem Fio.....	32

## LISTA DE SIGLAS

2FSK	2 Frequency Shift Keying
4FSK	4 Frequency Shift Keying
BFSK	Binary Frequency Shift Keying
BP	Blood Pressure
CA	Certificate Authority
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DDoS	Distributed Deny of Service
DoS	Deny of Service
ECG	Eletrocardiografia
EEG	Eletroencefalografia
EHR	Electronic Health Record
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FDA	Food and Drug Administration
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
HIPAA	Health Insurance Portability and Accountability Act
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical radio band
MBU	Mobile Base Unit
O-QPSK	Offset Quadrature Phase Shift Keying
P2P	Peer-to-peer
PKI	Public Key Infrastructure
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UWB	Ultra Wideband
WMTS	Wireless Medical Telemetry

## LISTA DE ACRÔNIMOS

BAN	Body Area Network
ISO	International Organization for Standardization
MAC	Media Access Control
MedRadio	Medical Device Radiocommunications Service
SAR	Specific Absorption Rate
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Delimitação do Tema</b> .....	12
<b>1.2 Justificativa</b> .....	12
<b>1.3 Objetivos</b> .....	13
1.3.1 Objetivo Geral.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos .....	14
<b>1.4 Estrutura do Trabalho</b> .....	14
<b>1.5 Metodologia</b> .....	15
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
<b>2.1 Saúde Eletrônica e a Mobilidade</b> .....	16
2.1.1 Saúde Eletrônica.....	16
2.1.2 Aplicações de Saúde Eletrônica.....	17
2.1.3 A Importância da Mobilidade .....	18
<b>2.2 Tecnologias Sem Fio no Monitoramento Remoto</b> .....	19
2.2.1 Topologia das Redes .....	20
2.2.2 Redes Corporais Sem Fio .....	22
2.2.2.1 Requisitos Técnicos .....	23
2.2.2.2 Desafios Tecnológicos.....	25
2.2.3 Tecnologias Sem Fio Empregadas.....	30
2.2.3.1 Bluetooth clássico.....	33
2.2.3.2 Bluetooth baixo consumo .....	34
2.2.3.3 ZigBee .....	34
2.2.3.4 ANT .....	35
2.2.3.5 Sensium .....	35
2.2.3.6 Zarlink.....	35
2.2.3.7 IEEE 802.15.6 .....	36
2.2.4 Uso de Rádios Cognitivos .....	37
<b>2.3 Estudos de Caso</b> .....	38
2.3.1 AlarmNet .....	38
2.3.2 CodeBlue.....	40
2.3.3 Mobihealth.....	40
2.3.4 Tunstall .....	42
<b>2.4 Questões Controversas</b> .....	43
2.4.1 Registro Eletrônico de Saúde (EHR – <i>Electronic Health Record</i> ) .....	44
2.4.2 Requisitos de Segurança e Privacidade para Sistemas de Saúde Eletrônica ..	45
2.4.2.1 Privacidade .....	45
2.4.2.2 Controle de Acesso .....	47
2.4.2.3 Autenticação.....	48
2.4.2.4 Confidencialidade e Integridade.....	49
2.4.2.5 Disponibilidade.....	50
2.4.2.6 Responsabilidade .....	50
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	51
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	53

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Delimitação do Tema

O objeto de análise deste trabalho consiste no estudo do uso de tecnologias sem fio para o monitoramento de pacientes na área da saúde levando em consideração tanto os aspectos técnicos (das tecnologias disponíveis atualmente até as linhas de pesquisa mais promissoras) como as questões humanas (seus possíveis benefícios bem como as controvérsias e os riscos por sua utilização) envolvidas no tema.

## 1.2 Justificativa

Segundo Patel e Wang (2010), uma população em envelhecimento e um estilo de vida sedentário são dois fatores que estão contribuindo para o aumento do número de casos de doenças crônicas como a hipertensão, doenças cardiovasculares e diabetes.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, doenças cardiovasculares causam 30% de todas as mortes no mundo (quase 17,5 milhões de pessoas em 2005). A diabetes atualmente afeta 180 milhões de pessoas no mundo todo e a expectativa é que afete aproximadamente 360 milhões até 2030. Mais de 2,3 bilhões de pessoas estarão acima do peso até 2015. Um rápido aumento nos casos de doenças neurodegenerativas debilitantes como o Parkinson e o Alzheimer está ameaçando milhões mais de pessoas. (PATEL; WANG, 2010, p.80).

Para Cheng e Zhuang (2010) os aumentos dos casos diagnosticados de Alzheimer estão relacionados com o envelhecimento da geração “*baby boom*” (geração nascida nos anos seguintes ao fim da Segunda Guerra Mundial, período este caracterizado por um aumento anormal na taxa de natalidade).

Essas necessidades crescentes de cuidados médicos estão exercendo uma enorme pressão nos frágeis sistemas de saúde mundo afora. Além disso, a escassez de pessoal qualificado, a sobrecarga de trabalho e o aumento de cortes nos orçamentos agravaram a iminente crise na saúde (PATEL; WANG, 2010).

Diante desse cenário, uma gestão de custos e qualidade de tratamento está se tornando questão prioritária tanto em países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento (CHENG; ZHUANG, 2010). Para Wood et al. (2008), essa nova gestão é social e economicamente benéfica pois visa reduzir custos com tratamentos enquanto busca reforçar a prevenção e a detecção precoce das doenças.

Uma das apostas para resolver essa questão é explorar os avanços tecnológicos e integrá-los na área da saúde objetivando oferecer soluções acessíveis e eficientes (PATEL; WANG, 2010). Sistemas atuais que permitem melhores diagnósticos médicos e avanços na tecnologia da informação freqüentemente focam nos ambientes clínicos e dependem da infra-estrutura presente neles. Entretanto, linhas atuais de pesquisa buscam mudar esse modelo centralizado, guiado por especialistas, para outro, voltado para espaços pessoais e que envolve cuidadores informais como membros da família, amigos e a comunidade (WOOD et al., 2008). Dentre essas linhas, destaca-se o monitoramento remoto de saúde (também denominado telemedicina) que, segundo Feng, Liang e Zhao (2010), “está surgindo como uma importante área de pesquisa que integra comunicações sem fio, sensoriamento e cuidados de saúde”.

Telemedicina soluciona a contradição entre o aumento da demanda por cuidados de saúde e os recursos hospitalares limitados e permite que os pacientes sejam monitorados remotamente durante sua vida diária normal. Isso irá, sem dúvida, melhorar a qualidade dos serviços de saúde. (FENG; LIANG; ZHAO, 2010, p.96).

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Revisar a literatura sobre aspectos técnicos e humanos no uso de tecnologias sem fio no monitoramento remoto de pacientes na área da saúde.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Conceituar sistemas de monitoramento remoto sem fio.

Relatar os desafios enfrentados na evolução da tecnologia.

Apresentar estudos de caso, comerciais e acadêmicos, envolvendo o uso de tecnologias sem fio no monitoramento de pacientes.

Apresentar questões controversas que envolvem o monitoramento remoto de pacientes.

## 1.4 Estrutura do Trabalho

O monitoramento remoto de pacientes é uma das várias aplicações englobadas no conceito de *e-healthcare* (saúde eletrônica). Portanto, para melhor compreendê-lo, faz-se necessário definir alguns conceitos, tal como o da própria saúde eletrônica.

O trabalho começa conceituando alguns termos que serão usados ao longo do texto.

Na seqüência são apresentadas seções específicas sobre o monitoramento remoto de pacientes e as tecnologias sem fio empregadas. A primeira delas lista as topologias de rede possíveis. A segunda traz o conceito de redes corporais sem fio discutindo seus requisitos técnicos e desafios tecnológicos que precisam ser superados. A terceira seção apresenta as tecnologias atualmente empregadas nos sistemas comerciais e nos projetos de pesquisa, incluindo o novo padrão IEEE 802.15.6 que está em desenvolvimento. A quarta seção descreve o conceito de rádios cognitivos, seus benefícios e como eles podem ser aproveitados na área dos cuidados com a saúde.

O trabalho apresenta em seguida um estudo de casos de produtos comerciais e projetos acadêmicos na área de monitoramento remoto utilizando redes sem fio.

O último tópico aborda as questões controversas sobre o tema. Problemas como a segurança do sistema e a privacidade do paciente são discutidos.

Por fim, são feitas considerações sobre o uso atual da tecnologia e seu futuro tanto no aspecto comercial quanto social e na área da saúde.

## **1.5 Metodologia**

Para o desenvolvimento do trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os mais recentes trabalhos nas principais publicações das áreas que abordam a temática do monitoramento remoto de pacientes através da utilização de redes sem fio.

Inicialmente foram consultados artigos recentes da área tecnológica mas percebeu-se que era necessário um conhecimento mais amplo para compreender o tema e suas implicações.

Então foram feitas pesquisas em publicações da área de saúde que trouxeram uma nova visão sobre os benefícios desse tipo de tecnologia mas também observações sobre preocupações inerentes a ela. Com essa pesquisa foi possível conceituar alguns termos e situar o momento que a tecnologia começou a ser usada para solucionar os problemas enfrentados na área da saúde.

Voltando às questões técnicas, sabendo as preocupações levantadas pelos profissionais da saúde foi possível descobrir como tais questões estão sendo abordadas e solucionadas pelos autores em seus trabalhos e projetos.

Além das revisões de literatura, foram pesquisados exemplos reais de sistemas de monitoramento remoto de pacientes usando tecnologias sem fio. Com a base levantada pela literatura é possível questionar a qualidade dos mesmos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Saúde Eletrônica e a Mobilidade

De acordo com Costa (2001), do montante total destinado à saúde nos Estados Unidos em 1999, boa parte (estima-se que de 25 a 30%) era desperdiçada devido a ineficiências, redundâncias e procedimentos médicos desnecessários. Em parte isso era justificado, ainda segundo ele, pela falta de troca de informações dentro de um mercado altamente distribuído onde a atualização profissional faz diferença na prática médica diária.

#### 2.1.1 Saúde Eletrônica

Nesse contexto, no começo do século 21, surge um novo termo que, segundo Harrison e Lee (2007), engloba o uso da informação eletrônica e das tecnologias de comunicação na área da saúde: o *e-health* (saúde eletrônica).

Portanto, saúde eletrônica é o termo utilizado para referenciar qualquer troca de informações relacionadas à saúde coletadas ou analisadas através de uma conexão eletrônica com o intuito de melhorar a eficiência dos processos de prestação de cuidados de saúde (HARRISON; LEE, 2007).

Ainda segundo Harrison e Lee (2007), os objetivos da saúde eletrônica podem ser resumidos da seguinte forma:

- Aumento da eficiência nos tratamento de saúde;
- Aumento da qualidade dos cuidados;
- Maior comprometimento com a medicina baseada em evidências, já que, em teoria, não existem mais restrições de acesso às informações;
- Desenvolvimento de novas relações entre pacientes e profissionais da saúde;

- Aumento da capacitação de pacientes e consumidores, já que, em teoria, não existem mais restrições de acesso às informações também por parte destes.

Apesar de o termo ter sido cunhado apenas no início do século 21, o conceito é mais antigo. Surgiu na década de sessenta, quando começou a era da exploração espacial. A saúde dos astronautas era monitorada através da transmissão dos parâmetros fisiológicos para os médicos que estavam em terra (STOKOWSKI, 2008).

Para Stokowski (2008), a saúde eletrônica tem o potencial de se tornar o salvador dos sistemas de saúde mundo afora. Segundo ela, uma premissa básica dessa tecnologia é que a geografia não é mais uma barreira para o tratamento de saúde já que pacientes podem receber tratamento quando e onde eles precisarem. Isso significa que milhares de dólares podem ser economizados todo ano em transporte de pacientes não ambulatoriais para clínicas e consultórios médicos para atendimentos de rotina, por exemplo (STOKOWSKI, 2008). Diminuir a demanda por atendimento em ambiente hospitalar permite aos profissionais de saúde oferecer melhor atendimento aos pacientes que realmente necessitam de atendimento nesses locais.

### 2.1.2 Aplicações de Saúde Eletrônica

De acordo com Stokowski (2008), é possível dividir as aplicações de saúde eletrônica em basicamente três áreas:

- Armazenar e transmitir: áudio, vídeo, imagens e dados clínicos são capturados e armazenados em um computador cliente e, assim que possível, retransmitidos para outro local de forma segura para serem armazenados e analisados por enfermeiros ou outros profissionais da saúde;
- Tempo real: nessa categoria, uma conexão de telecomunicação é estabelecida entre dois locais e os dados (sejam eles áudio, vídeo ou dados clínicos) são trocados em tempo real permitindo interação entre os dois lados da conexão;

- Monitoramento remoto: sensores são usados para capturar e transmitir dados biométricos dos pacientes. Na seqüência, tais dados são transmitidos até outro local onde profissionais da saúde podem acompanhar o paciente remotamente.

### 2.1.3 A Importância da Mobilidade

Segundo Ren, Pazzi e Boukerche (2010), “a utilização de tecnologia sem fio e móvel tem estimulado um grande avanço no sentido de facilitar o desenvolvimento (de aplicações) de saúde eletrônica.”

Phunchongharn et al. (2010, p.20) ratifica afirmando que “a comunicação sem fio é a chave tecnológica para aumentar a mobilidade e a flexibilidade do serviço para diferentes aplicações de saúde eletrônica dentre elas o monitoramento remoto de pacientes.”

Por um lado, dispositivos sem fio e redes móveis permitem que os profissionais da área médica trabalhem com as mãos livres enquanto se comunicam com outros colegas em um hospital. Por outro lado, sensores acoplados juntos ao corpo permitem aos usuários das aplicações de saúde eletrônica ter flexibilidade e mobilidade, tornando possível que os pacientes sejam monitorados em lugares e horários arbitrários. (REN; PAZZI; BOUKERCHE, 2010).

Um dos grandes benefícios é poder prevenir enfermidades paroxísticas mesmo que pacientes não estejam em hospitais ou centros de enfermagens e ainda oferecer aos pacientes o máximo de liberdade enquanto continuam sob supervisão médica (REN; PAZZI; BOUKERCHE, 2010).

Ou seja, é o uso das tecnologias móveis que acaba por permitir a mudança do local do controle da saúde dos sistemas hospitalares para sistemas computacionais instalados onde os pacientes vivem ou por onde eles se movam (TONINELLI; MONTANARI; CORRADI, 2009).

Na figura 1, abaixo, é possível ver um exemplo de uma estrutura básica de um sistema móvel de saúde.

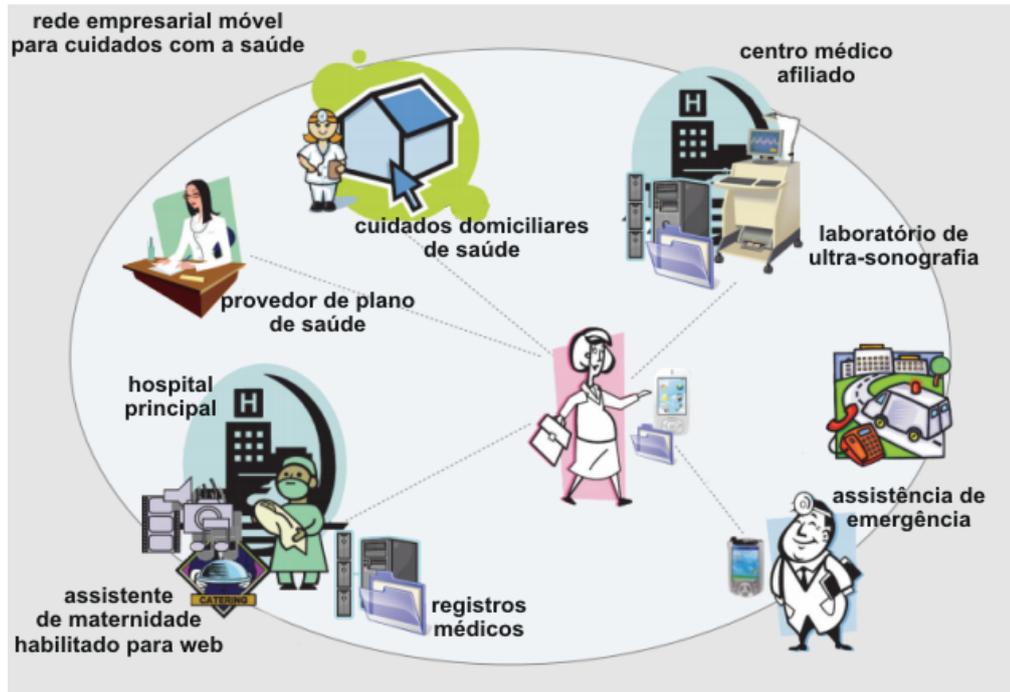


Figura 1 – Estrutura de um Sistema Móvel de Saúde Eletrônica  
 Fonte: Toninelli, Montanari e Corradi (2009, p. 25).

Os benefícios do monitoramento/tratamento sem restrições, de forma discreta e contínua incluem a análise de tendência de longo prazo, a detecção de anormalidades transitórias, avisos de alertas para que o cuidador intervenha no caso de uma emergência, a regulamentação dos regimes de tratamento, a redução de erros, a redução das hospitalizações, a extensão da independência de vida para os idosos e a melhora do conforto do paciente. (PATEL; WANG, 2010, p. 80-81).

Segundo Patel e Wang (2010), relatórios recentes estimam que as redes de sensores sem fio podem reduzir em até U\$ 25 bilhões os custos anuais com cuidados com a saúde até 2012.

## 2.2 Tecnologias Sem Fio no Monitoramento Remoto

Segundo Feng, Liang e Zhao (2010) um típico cenário de aplicação de saúde eletrônica envolve a captação de sinais vitais de forma contínua (como, por exemplo, pressão sanguínea e taxa de glicose) utilizando, para isso, sensores incorporados ao corpo do paciente e a transmissão destes sinais para um local remoto onde são analisados e armazenados. Para Stokowski (2008), uma atividade que começou sendo feita pelo telefone evoluiu para o uso de biosensores e computadores integrados ao corpo dos pacientes.

### 2.2.1 Topologia das Redes

De acordo com Misic e Misic (2010), dentre as mais importantes decisões em relação à arquitetura da parte sem fio das redes de monitoramento remoto está a escolha do número de camadas da topologia (topologia de camada única ou múltiplas camadas). Segundo eles, essa decisão, por sua vez, afeta outras como, por exemplo, a de qual padrão de comunicação utilizar em cada camada (pois está relacionado com o alcance de cada tecnologia bem como com seu consumo de energia e taxas de transmissão, dentre outras características).

#### Na topologia camada única

Os sensores estariam diretamente conectados a um ponto de acesso sem fio o qual então encaminharia os dados através de uma conexão com fio até um banco de dados central. Tal arquitetura, apesar de tecnicamente possível, apresenta uma série de riscos tanto do ponto de vista técnico como de saúde. Em um hospital, muitos pacientes precisam ser atendidos por um único ponto de acesso sem fio, o qual pode ficar sobrecarregado. Ao mesmo tempo, o aumento na potência de transmissão que se torna necessária se todos os sensores precisam se comunicar diretamente com o ponto de acesso pode interferir com o mecanismo de sensoriamento, reduzir a vida útil da bateria e até mesmo se tornar prejudicial aos pacientes em alguns casos. (MISIC; MISIC, 2010, p.91).

#### Já na topologia de múltiplas camadas

Os sensores formariam uma BAN ("*body area network*" – rede corporal), funcionando como uma primeira camada (mais próxima ao paciente). Essa rede é controlada por um coordenador dedicado ou compartilhado que também serviria como ponte para coletar dados dos sensores e enviá-los até um ponto de acesso sem fio usando uma WPAN ("*wireless personal area network*" – rede pessoal sem fio) adequada ou uma WLAN ("*wireless local area network*" – rede local sem fio), funcionando como uma segunda camada. O ponto de acesso sem fio estaria conectado com a porção com fio do sistema de monitoramento diretamente ou, em alguns casos, através de uma rede regional sem fio ou uma rede *mesh* que funcionariam como uma opcional terceira camada. (MISIC; MISIC, 2010, p.91).

Em aplicações que não possuem requisitos de tempo real o dispositivo ponte pode armazenar localmente os dados (já que os dispositivos da rede corporal, em geral, têm recursos limitados) e, assim que alguma rede de infra-estrutura estiver disponível, se conectar e enviar os dados armazenados. Já aplicações de tempo real onde a rede corporal de sensores permanece continuamente conectada a infra-estrutura é possível ter mobilidade universal enquanto se está sendo monitorado. Nesse caso são possíveis, por exemplo, aplicações que alertam serviços de atendimento de urgência em casos de parada cardíaca ou quando detectam uma

queda de um paciente monitorado (através de acelerômetros conectados na rede corporal de sensores) (PATEL; WANG, 2010).

A figura abaixo ilustra um exemplo de topologia multicamadas em sistemas de monitoramento remoto de pacientes.

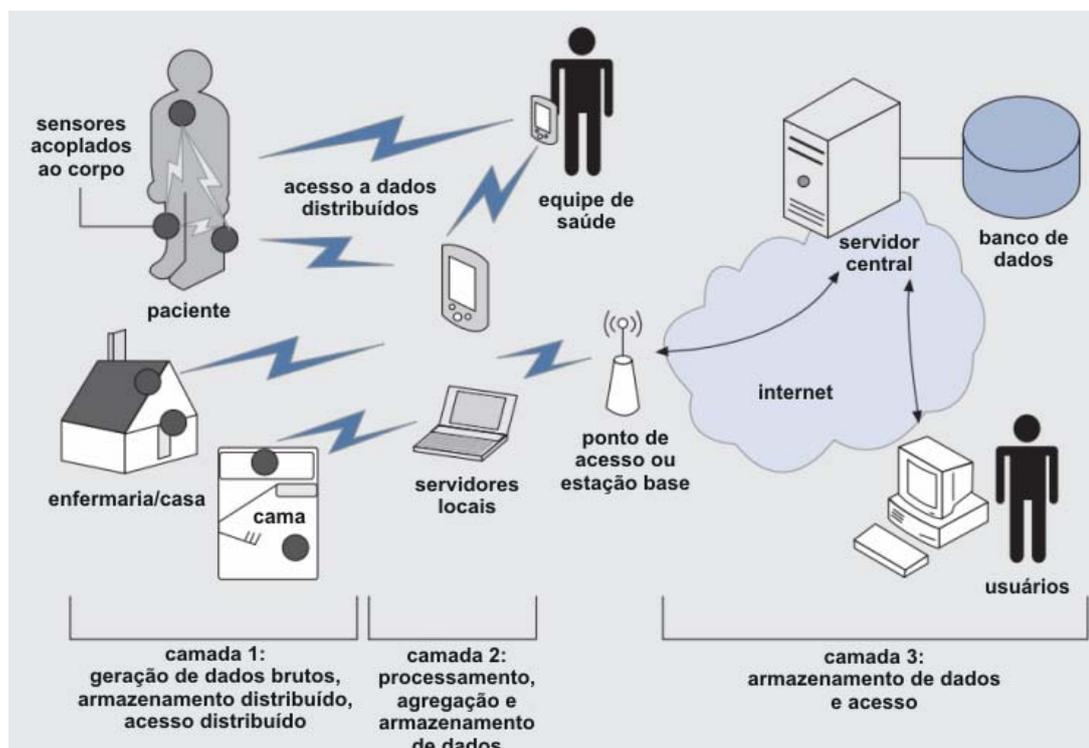


Figura 2 – Exemplo de Topologia Multicamadas em Sistemas de Monitoramento Remoto  
Fonte: Li, Lou e Ren (2010, p. 52).

No exemplo de topologia com três camadas apresentado na figura 2, sensores colocados no paciente, sobre ele ou ao seu redor (formando a primeira camada) monitoram seus sinais vitais (eletrocardiograma, pulsação e pressão sanguínea) ou parâmetros ambientais importantes tais como temperatura e umidade e os enviam para servidores locais responsáveis pelo processamento, agregação e armazenamento dos dados coletados (segunda camada). Esses servidores podem também retransmitir as informações para bancos de dados centralizados para armazenamento permanente em centros de cuidados com a saúde (terceira camada) (LI; LOU; REN, 2010, p.51).

### 2.2.2 Redes Corporais Sem Fio

De acordo com Ren, Pazzi e Boukerche (2010), são formadas por biosensores miniaturizados, de baixo custo, que podem ser usados junto ao corpo como uma peça de vestuário ou implantados e capazes de fornecer monitoramento fisiológico contextualizado dos pacientes.

Li, Lou e Ren (2010) reforçam que esse monitoramento, devido às características das redes corporais sem fio, pode ser feito remotamente, em tempo real. Os dados coletados são processados e transmitidos para centros médicos onde vários usuários, dentre eles a equipe médica dos pacientes, pesquisadores, agências governamentais e companhias de seguro, podem acessá-los e analisá-los.

As redes corporais sem fio libertam as pessoas de visitas freqüentes aos hospitais e alivia a forte dependência de mão de obra especializada nos cuidados com a saúde. Assim, é uma técnica desejável para rapidamente construir um sistema de saúde rentável especialmente em países que possuem fraca infra-estrutura médica e poucas equipes bem treinadas. (LI; LOU; REN, 2010).

A figura 3 ilustra um exemplo de rede corporal de sensores. Diferentes tipos de sensores são integrados e anexados ao corpo do paciente para monitorar diferentes tipos de sinais fisiológicos (tais como eletroencefalografia, eletrocardiografia, pressão sanguínea, pulsação, contadores de passos, etc.) (REN; PAZZI; BOUKERCHE, 2010).

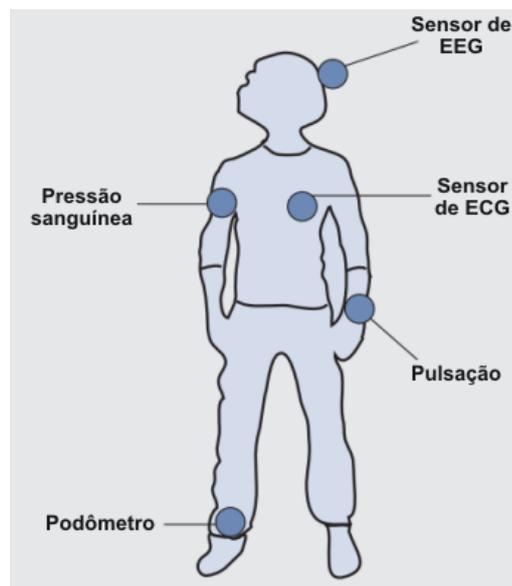


Figura 3 – Exemplo de Rede Corporal de Sensores  
Fonte: Ren, Pazzi e Boukerche (2010, p.62).

### 2.2.2.1 Requisitos Técnicos

Os requisitos técnicos (taxa de transmissão, taxa de erro de bit, tolerância de atraso, ciclo de trabalho e duração de bateria) de uma rede corporal de sensores variam de acordo com as aplicações que estão sendo monitoradas em um paciente (PATEL; WANG, 2010).

O quadro 1, abaixo, lista alguns requisitos de aplicações de monitoramento típicas.

Aplicação	Taxa de transmissão	Número de nós	Topologia	Tempo de config	Latência P2P	Taxa de erro de bit	Ciclo de trabalho	Duração desejada da bateria
Estimulação profunda do cérebro	1 Mb/s	2	P2P	< 3 s	< 250 ms	$<10^{-3}$	< 50%	> 3 anos
Aparelho auditivo	200 kb/s	3	Estrela	< 3 s	< 250 ms	$<10^{-10}$	< 10%	> 40 horas
Cápsula endoscópica	1 Mb/s	2	P2P	< 3 s	< 250 ms	$<10^{-10}$	< 50%	> 24 horas
Dosador de medicação	< 1 kb/s	2	P2P	< 3 s	< 250 ms	$<10^{-10}$	< 1%	> 24 horas
Eletrocardiografia	72 kb/s (amostragem de 500 Hz, AD 12 bits, 12 canais)	< 6	Estrela	< 3 s	< 250 ms	$<10^{-10}$	< 10%	> 1 semana
Eletroencefalografia	86,4 kb/s (amostragem de 300 Hz, AD 12 bits, 24 canais)	< 6	Estrela	< 3 s	< 250 ms	$<10^{-10}$	< 10%	> 1 semana
Eletromiografia	1536 Mb/s (amostragem de 8 kHz, AD 16 bits, 12 canais)	< 6	Estrela	< 3 s	< 250 ms	$<10^{-10}$	< 10%	> 1 semana
Sensores de oxigenação, dióxido de carbono, pressão sanguínea, temperatura, respiração, glicose, aceleração	< 10 kb/s	< 12	Estrela	< 3 s	< 250 ms	$<10^{-10}$	< 1%	> 1 semana
Áudio	1 Mb/s	3	Estrela	< 3 s	< 100 ms	$<10^{-5}$	< 50%	> 24 horas
Vídeo / Imagens médicas	< 10 Mb/s	2	P2P	< 3 s	< 100 ms	$<10^{-3}$	< 50%	> 12 horas

Quadro 1 - Requisitos Técnicos Para Redes Corporais de Sensores em Determinadas Aplicações  
Fonte: Patel e Wang (2010, p.82).

Redes corporais de sensores devem ser capazes de atender toda a diversidade de aplicações e suas exigências (PATEL; WANG, 2010).

O quadro 2, abaixo, as resume.

<b>Característica</b>	<b>Requisito</b>	<b>Faixa Desejada</b>
Espaço de operação	Dentro, fora ou ao redor do corpo	Tipicamente entre 0 e 3 metros, podendo chegar a até 5 metros
Tamanho da rede	Modesto	< 64 dispositivos por rede
Taxa de dados	Escalável	De alguns poucos kb/s até 10 Mb/s
Duração da bateria	Ultra-longa para implantes Longa para sensores acoplados ao corpo	Até 5 anos para implantes Até 1 semana para sensores acopláveis
Bandas de frequência	Não licenciadas e bandas médicas	MedRadio, ISM, WMTS, UWB
Pico de consumo de energia	Escalável	Entre 0,001 e 0,1 mW em modo de espera a até 30 mW em operação
MAC	Escalável, confiável, versátil e de auto-formação	Baixo consumo em escuta, despertar, mudança de estado e sincronismo
Topologia	Estrela, malha ou árvore	Auto-formação, distribuída com suporte a múltiplos saltos
Ciclo de trabalho	Adaptativo, escalável	De 0,001% a até 100%
Coexistência	Coexistência com dispositivos já existentes e entre eles próprios	Operação simultânea de até 10 redes independentes
Suporte a qualidade de serviço e diferenciação	Dados de tempo real, dados paramétricos periódicos, dados episódicos e alarmes de emergência	Taxa de erro de bit de $10^{-10}$ a até $10^{-3}$ Latência P2P de 10ms a até 250ms Mecanismos de reserva e priorização
Tolerância a falhas	Nenhum ponto de falha	Capacidade para isolar e se recuperar de falhas
Ambiente dinâmico	Sombreamento do corpo (torções, giros, corridas), atenuações	Operação uniforme de múltiplos nós se movendo dentro e fora do alcance uns dos outros
Segurança	Vários níveis, a longo e curto prazos, leves	Autenticação, autorização, privacidade, confidencialidade, encriptação e integridade das mensagens
Segurança / Biocompatibilidade	Sem efeitos prejudiciais a longo prazo e uso contínuo	Cumprir requisitos regulamentares (FDA, SAR e HIPAA)
Tempo de configuração e procedimentos	Não podem ser percebidos (nem lentos nem tediosos)	Até 3 segundos
Considerações ergonômicas	Tamanho, forma, peso, fator de forma restrito por região ou órgão	Não invasivo, discreto, de pequeno tamanho, peso e fator de forma
Reprogramação, calibração e personalização	Personalizado, integrado, configurável e serviços sensíveis ao contexto	Capacidade de se reprogramar, recalibrar, ajustar e configurar usando tecnologia sem fio

Quadro 2 - Requisitos Técnicos Para Redes de Sensores Corporais.

Fonte: Patel e Wang (2010, p.83).

### 2.2.2.2 Desafios Tecnológicos

Segundo Patel e Wang (2010), as redes corporais sem fio trazem uma série de questões que precisam ser levadas em conta no projeto dos sistemas sem fio de rádio frequência. São elas:

- Seleção de banda de frequência

É esperado que os dispositivos que operam em uma rede corporal possam ser utilizados globalmente, portanto, é desejável que o rádio utilizado nesse tipo de rede opere legalmente no mundo inteiro (PATEL; WANG, 2010).

O quadro 2, abaixo, relaciona as principais vantagens e desvantagens de cada banda de frequência que tem potencial para ser utilizada nesse tipo de rede.

Frequência (MHz)	Acrônimo	Adequação às aplicações de redes corporais	
		Méritos	Deméritos
401 – 406	MedRadio	Disponível mundialmente, boas características de propagação, canal livre, uso médico	Uso secundário, aplicações de uso junto ao corpo não são permitidas em 402-405 MHz, antenas grandes, largura de banda limitada, regras muito rígidas
433,05 – 434,79	Telemetria em geral	Boas características de propagação	Disponível na Europa, Austrália, Nova Zelândia e África do Sul, espectro super utilizado, antenas grandes, largura de banda limitada
608 – 614 1395 – 1400 1427 – 1432	WMTS	Boas características de propagação, uso médico	Uso secundário limitado aos provedores de cuidados de saúde dentro de clínicas e hospitais nos Estados Unidos, espectro limitado e intensamente utilizado
868 – 870	Telemetria em geral	Boas características de propagação	Disponível somente na Europa, espectro limitado, intensamente utilizado
902 – 928	ISM	Boas características de propagação	Disponível apenas no Canadá e Estados Unidos, espectro super utilizado
2400 – 2483,5 (2400 – 2500)	ISM	Disponível mundialmente, pequena antena, grande largura de banda	Espectro super utilizado, muitos padrões e tecnologias
5725 – 5850	ISM	Disponível mundialmente, pequena antena, grande largura de banda	Existência de padrões e tecnologias, atenuação intensa
4200 – 4800 7250 – 8500	UWB	Disponível mundialmente, curto alcance, baixa potência, enorme largura de banda	Coexistência com aplicações multimídia de alta velocidade, atenuação intensa

Quadro 3 - Características das Possíveis Faixas de Frequências para Redes Corporais Sem Fio  
Fonte: Patel e Wang (2010, p.84).

Dentre as características apresentadas no quadro 2, a faixa central de frequências da banda denominada MedRadio (402 – 405 MHz) apresenta vantagens que podem ser aproveitadas em aplicações de implantes tais como características superiores de propagação em implantes, canal silencioso e disponibilidade global. Já as bandas ISM, WMTS, UWB e as bordas da banda MedRadio (401 – 402 MHz e 405 – 406 MHz) podem ser aproveitadas em aplicações junto o corpo (PATEL; WANG, 2010).

Entretanto cabe ressaltar que dispositivos de baixa potência podem sofrer forte interferência na presença de outras tecnologias de maior potência que também operam na banda ISM o que a torna pouco atraente para aplicações médicas que exigem alta fidelidade. A banda WMTS também apresenta problemas já que nos dias atuais está sendo intensamente utilizada e, além do mais, seu uso está restrito às unidades de saúde (clínicas, hospitais, etc) situadas nos Estados Unidos. A banda UWB, explorada para uso por aplicações colocadas junto ao corpo, traz o problema de coexistir em uma faixa de frequências utilizada por aplicações multimídias de alta velocidade. Por fim, as bordas da banda MedRadio apresentam regras muito rigorosas e restritivas tornando seu uso pouco atraente (PATEL; WANG, 2010).

O fato de não existir uma banda ideal para alocar as redes corporais levou o FCC a considerar a abertura da faixa de 2360 até 2400 MHz do espectro para utilização por redes corporais de uso médico (PATEL; WANG, 2010).

- Modelagem do canal

O modelo do canal está intimamente relacionado com o projeto das tecnologias utilizadas na camada física dos dispositivos da rede. A grande complexidade na validação empírica de modelos de canal se deve as variáveis envolvidas que tornam o ambiente dinâmico devido a torções, corridas, existência de múltiplos caminhos e mobilidade em geral (PATEL; WANG, 2010).

- Projeto da antena

O que torna o projeto da antena um desafio são as restrições em relação ao tamanho e formato (dependem da localização e do órgão onde foi feito o implante), material (apenas materiais não corrosivos e biocompatíveis – como o titânio e a platina – podem ser utilizados em implantes, o que resulta em uma performance muito pior se comparada a antenas construídas em cobre, por exemplo) e ao ambiente de rádio frequência hostil (devido, por exemplo, às mudanças na idade do portador, ganho ou perda de peso, mudanças na postura) (PATEL; WANG, 2010).

- Projeto do protocolo da camada física

Para esse tipo de rede, o projeto do protocolo da camada física requer diminuição do consumo de energia sem que ocorra o comprometimento da fidelidade da transmissão. Idealmente o aumento do consumo e o aumento da taxa de dados devem seguir uma escala linear indo de alguns poucos quilobytes por segundo a até 10 Mb/s, ou seja, objetivando atingir uma quantidade de energia constante por bit de informação. São requisitos: protocolos robustos para tratamento de interferências (já que os dispositivos na rede irão operar na presença de outros dispositivos de maior potência em bandas de frequência não licenciadas), conectividade sem interrupções apresentando o mínimo de degradação na performance (variações na latência, perda de pacotes e velocidade) mesmo em ambientes dinâmicos e rápidos tempos de resposta nas mudanças dos modos de transmissão para recepção e do modo *sleep* para o de operação (o que contribui de forma significativa para a economia de energia) (PATEL; WANG, 2010).

- Eficiência energética do hardware

As tecnologias sem fio existentes consomem picos de corrente relativamente altos e contam com a mudança no ciclo de trabalho (entre os modos *sleep* e ativo) para minimizar a corrente média drenada. Inovações nos circuitos

integrados (hardware dos rádios, miniaturização, etc.) combinadas com novas técnicas que estão em pesquisa (escuta em modo de baixo consumo, etc.) prometem reduzir drasticamente o consumo desses dispositivos (PATEL; WANG, 2010).

- Projeto do protocolo de controle de acesso ao meio físico

Redes corporais para uso médico se destinam a dar suporte às aplicações médicas de salvamento. Portanto, são requisitos: necessidade de suporte para priorização de mensagens de monitoramento de dados vitais em tempo real bem como garantia de entrega de mensagens de alarme em situações de emergência, agilidade na adaptação de frequências e protocolos de migração de canais (para alternar para canais mais silenciosos caso muita interferência seja detectada) e simples procedimentos de configuração, auto-organização e auto-regeneração das redes são essenciais para a conveniência de usuários não especializados (PATEL; WANG, 2010).

- Qualidade de serviço e confiabilidade

A confiabilidade e a qualidade de serviço oferecidas por redes corporais de sensores sem fio devem ser iguais ou melhores do que as obtidas atualmente utilizando-se tecnologias com fio quando o objetivo é a utilização para fins médicos. A estrutura de gerência do sistema de qualidade de serviço deve ser flexível o suficiente para ser dinamicamente configurável para atender os requisitos de cada aplicação sem que isso aumente a complexidade ou diminua o desempenho do sistema. Por exemplo, aplicações de tempo real críticas para vida são tanto sensíveis ao atraso de entrega quanto às perdas na transmissão (os dispositivos desse tipo de rede, em geral, têm poucos recursos para lidar com armazenamento e retransmissão de dados perdidos e/ou corrompidos e, além disso, pacotes de alerta e/ou alarmes não entregues por indisponibilidade da rede podem ter sérias conseqüências). Portanto, são requisitos: algoritmos fortes de detecção e correção

de erros e mecanismos eficientes de reconhecimento e retransmissão de pacotes (PATEL; WANG, 2010).

- Conectividade de tempo real em redes heterogêneas

Todo o potencial das redes corporais de sensores somente pode ser explorado se ela conseguir cumprir o requisito de estar a todo o momento, em qualquer lugar, de forma automática e contínua, conectada a redes de infraestrutura. Essa conexão (entre a rede corporal e a rede de infraestrutura) pode ser feita utilizando-se um dispositivo de ponte (um celular, por exemplo) que irá transferir dados da rede de sensores para as redes de infraestrutura (que podem ser redes de telefonia celular, redes sem fio locais, redes sem fio pessoais, etc.). Essa possibilidade de usar vários tipos de tecnologias sem fio diferentes traz o problema da integração entre elas e como tornar a conectividade uniforme durante a transição entre um tipo de tecnologia e/ou rede e outra e a questão da garantia de qualidade de serviço de uma ponta até a outra (PATEL; WANG, 2010).

- Segurança e privacidade

Redes corporais de sensores têm significantes implicações legais, financeiras, de privacidade e de segurança. Portanto, privacidade, confidencialidade, autenticação, autorização e integridade são requisitos fundamentais. Soluções utilizadas atualmente em outras aplicações para resolver esses requisitos não são ideais devido às limitações de recursos (processamento, memória, energia, etc.), falta de interface com o usuário, usuários não treinados, longevidade dos dispositivos e possibilidade de utilização global (PATEL; WANG, 2010).

O desenvolvimento de métodos leves e eficientes em termos de consumo de recursos é necessário. Entretanto, o maior desafio nesse quesito talvez seja outro: achar o ponto de equilíbrio em termos de segurança e privacidade. Por exemplo, um sistema altamente seguro pode acabar evitando que médicos ou paramédicos acessem informações fisiológicas críticas de um paciente em um caso de emergência (uma parada cardíaca, por exemplo) mas, por outro lado, um sistema

com alguma vulnerabilidade pode permitir que alguém induza uma insuficiência cardíaca no mesmo paciente (PATEL; WANG, 2010).

- Conformidade regulatória

A conformidade regulatória se torna um assunto complexo quando se refere a uma tecnologia cujo maior objetivo é permitir monitoramento contínuo a qualquer tempo e em qualquer lugar. Isso implica que as redes corporais sem fio precisam estar em conformidade com várias agências regulatórias ao mesmo tempo já que o usuário está livre para se mover para qualquer lugar do mundo. Por exemplo, nos Estados Unidos o FDA regulamenta os requisitos de conectividade de tempo real para monitoramento de pacientes enquanto o HIPAA rege requisitos como privacidade, integridade e controle de acesso aos dados dos pacientes e o FCC e outras autoridades impõe limites específicos em relação às taxas de absorção relacionadas com as tecnologias sem fio. Já na Europa tem-se o ETSI regulamentando questões relacionadas às telecomunicações e muitos outros diferentes órgãos e agências regulando outros quesitos (PATEL; WANG, 2010).

### 2.2.3 Tecnologias Sem Fio Empregadas

Como já foi mencionado, a escolha das tecnologias sem fio utilizadas está relacionada com o número de camadas que a topologia do sistema possui já que os requisitos, dependendo da escolha, mudam drasticamente.

Em um sistema multicamadas, por exemplo, é comum empregar duas ou mais tecnologias diferentes, uma para cada camada.

Segundo Feng, Liang e Zhao, grande número das propostas atuais de soluções para telemedicina utilizam redes sem fio trabalhando na banda não licenciada do espectro (comumente tecnologias dos padrões IEEE 802.15, IEEE 802.11 e IEEE 802.16).

No caso das tecnologias do padrão IEEE 802.15, estas possuem alcance de comunicação e taxa de dados muito limitadas. Logo, para aplicações de telemedicina que necessitam de transmissão de dados remotos, esse tipo de rede

não é adequada. Para cenários como esse o uso de tecnologias do padrão IEEE 802.11 (com alcance de centenas de metros e capazes de coletar informações de saúde de múltiplos pacientes nas proximidades) ou IEEE 802.16 (transmissão de longas distâncias e com altas taxas de dados) é mais adequado (FENG; LIANG; ZHAO, 2010). Outra possibilidade nesse caso é a utilização de topologias multicamadas onde a primeira camada seria formada por uma rede corporal sem fio (curto alcance) e as camadas seguintes por redes locais sem fio (longo alcance).

O quadro 4, abaixo, apresenta as tecnologias mais comumente utilizadas nas redes corporais sem fio dos sistemas de monitoramento remoto propostos nos dias de hoje. Ele lista também as principais características da camada física de cada uma das tecnologias.

Tecnologia	Espectro	Modulação	Canais	Taxa de dados	Alcance	Consumo (pico)	nJ/b	Topologia	Join time
Bluetooth clássico	2,4 GHz	GFSK	79	1-3 Mb/s	1 – 10 m	~45mA@3,3V	50	Scatternet	~3 s
Bluetooth baixo consumo	2,4 GHz	GFSK	3	1 Mb/s	1 – 10 m	~28mA@3,3V	92	Piconet Estrela	< 100 ms
ZigBee	2,4 GHz	O-QPSK	16	250 kb/s	10 – 100 m	~16,5mA@1,8V	119	Estrela, malha	30 ms
ANT	2,4 GHz	GFSK	125	1 Mb/s	10 – 30 m	~22mA@3,3V	73	Estrela, árvore ou malha	-
Sensium	868 MHz 915 MHz	BFSK	16	50 kb/s	1 – 5 m	~3mA@1,2V	72	Estrela	< 3 s
Zarlink ZL70101	402 - 405 MHz 433 - 434 MHz	2FSK/4FSK	10 MedRadio, 2 ISM	200 - 800 kb/s	2 m	~5mA@3,3V	21	P2P	< 2 s

Quadro 4 – Características das Possíveis Tecnologias Utilizadas em Redes Corporais Sem Fio  
Fonte: Patel e Wang (2010, p.85).

Já o quadro 5, abaixo, apresenta méritos e deméritos da utilização das mesmas tecnologias apresentadas no quadro 4 em aplicações de redes corporais sem fio.

Tecnologia	Adequação para Utilização em Redes Corporais	
	Méritos	Deméritos
Bluetooth clássico	Padrão estabelecido, adoção em massa nos telefones celulares e computadores portáteis, perfil para aplicações de saúde definido, taxa de dados suficiente, baixo custo	Alto consumo, escalabilidade limitada, qualidade de serviço limitada, coexistência com outras tecnologias na banda ISM, segurança limitada, uso somente junto ao corpo
Bluetooth baixo consumo	Interoperabilidade com Bluetooth, menor consumo que o Bluetooth, influência da marca Bluetooth	Requisitos de compatibilidade limitam a liberdade de projeto, escalabilidade limitada, qualidade de serviço limitada, coexistência com outras tecnologias na banda ISM, uso somente junto ao corpo
ZigBee	Padrão emergente, perfil para aplicações de saúde definido, menor consumo que o Bluetooth, escalável, menor consumo de memória	Baixa taxa de dados, qualidade de serviço limitada, coexistência com outras tecnologias na banda ISM, uso somente junto ao corpo
ANT	Protocolo simples, baixo consumo, perfil para aplicações de saúde definido, menor consumo de memória	Padrão proprietário, taxa de transferência limitada, qualidade de serviço limitada, coexistência com outras tecnologias na banda ISM, projeto para propósitos gerais, uso somente junto ao corpo
Sensium	Ultra baixo consumo, projeto customizado para redes corporais	Padrão proprietário, baixa taxa de dados, qualidade de serviço limitada, coexistência com outras tecnologias na banda ISM
Zarlink ZL70101	Ultra baixo consumo, compatível com MedRadio, projeto customizado para implantes	Padrão proprietário, somente para implantes

Quadro 5 – Méritos e Deméritos das Possíveis Tecnologias Utilizadas em Redes Corporais Sem Fio  
 Fonte: Patel e Wang (2010, p.86).

A figura 4, abaixo, ilustra uma comparação entre as tecnologias mencionadas nos quadros 4 e 5 em relação ao seu consumo e sua taxa de dados.

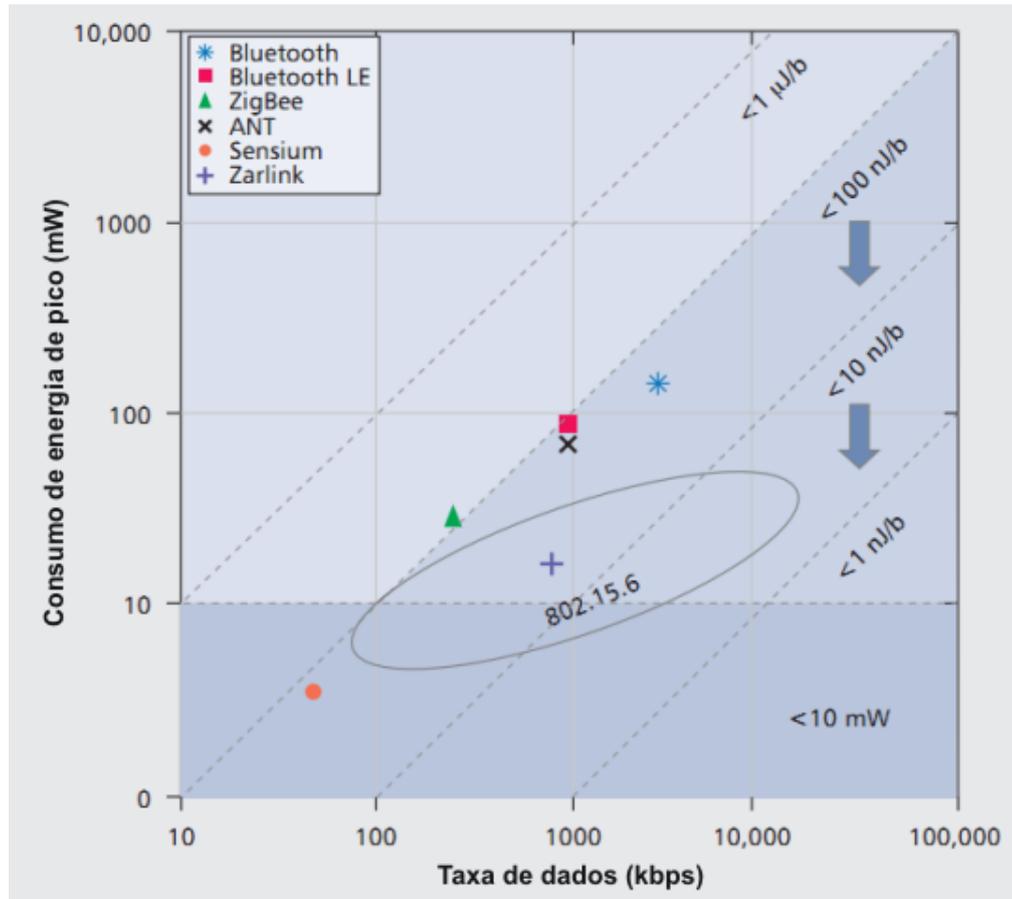


Figura 4 – Taxa de Dados e Consumo: Comparação Entre as Possíveis Tecnologias para Redes Corporativas  
 Fonte: Patel e Wang (2010, p.87).

As seções seguintes descrevem as principais características das tecnologias já citadas nos quadros 4 e 5 e apresenta o novo padrão IEEE 802.15.6.

### 2.2.3.1 Bluetooth clássico

Tecnologia de comunicação sem fio de curto alcance que define as camadas de enlace e de aplicação para suportar transmissão de dados e voz. Na camada de enlace utiliza uma tecnologia *full-duplex* de espalhamento espectral do sinal por salto de frequência a uma taxa nominal de 1600 saltos por segundo para reduzir a interferência entre tecnologias que compartilham o espectro de 2,4 GHz. É capaz de formar uma rede de até oito dispositivos denominada *piconet*. Possui um perfil exclusivamente projetado para definir requisitos das implementações de dispositivos Bluetooth para a área de saúde e condicionamento físico (*Bluetooth Health Device Profile*). É utilizado basicamente para conectar fontes de dados como

monitores de pressão, medidores de glicose, termômetros e oxímetros de pulso a coletores de dados como telefones celulares, computadores portáteis, computadores de mesa e aparelhos de saúde sem a necessidade de fios (PATEL; WANG, 2010).

### 2.2.3.2 Bluetooth baixo consumo

Com a promessa da interoperabilidade com o Bluetooth clássico e a força da marca Bluetooth (presente em mais de dois bilhões de dispositivos incluindo celulares e computadores de mesa), essa tecnologia prevê um modo de operação de baixíssimo consumo, funções de descoberta de outros dispositivos simplificada e confiabilidade na transferência de dados ponto a multiponto com funcionalidade como economia de energia e criptografia (PATEL; WANG, 2010).

### 2.2.3.3 ZigBee

Define as camadas de rede, segurança e aplicação sobre as camadas físicas e de controle de acesso ao meio (definidas pela norma IEEE 802.15.4). Diferente do Bluetooth, a camada física implementa uma técnica de espalhamento espectral por seqüência direta. Já a camada de controle de acesso ao meio utiliza um mecanismo de acesso múltiplo ao meio com verificação de portadora com prevenção de colisões (CSMA/CA – *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). Suporta formação de redes flexíveis, é altamente otimizada para baixos ciclos de trabalho e, ao contrário do Bluetooth, os nós escravos não precisam manter um sincronismo com um nó mestre, o que resulta em muito menos tempo de utilização do rádio e, por conseqüência, menor consumo de energia. Assim como o Bluetooth, possui um perfil para interoperabilidade de dispositivos sem fio permitindo um monitoramento seguro e confiável de serviços de saúde não críticos e de baixa acuidade (*Personal Health and Hospital Care*) (PATEL; WANG, 2010).

#### 2.2.3.4 ANT

Tecnologia proprietária projetada para uso genérico em redes de sensores sem fio. Possui como principais características um projeto simples, baixa latência, capacidade de gerenciar a taxa de dados e consumo de energia (aumentar ou diminuir a primeira para gerenciar o consumo), taxa de 20 kb/s entre nós da rede (podendo alcançar 1 Mb/s) e características de segurança incorporadas em baixo nível. Assim como o Bluetooth e o ZigBee, opera na faixa de frequência de 2,4 GHz utilizando um sistema de acesso múltiplo ao meio por divisão no tempo. A tecnologia é desenvolvida por uma aliança de mais de 100 empresas denominada ANT+ que definiram vários perfis para projetos de dispositivos e redes na área de saúde e condicionamento físico, dentre eles: *Heart Rate Monitor* (monitores de frequência cardíaca), *Stride-Based Speed and Distance Monitor* (podômetros), *Bicycle Speed and Cadence* e *Bicycle Power* (PATEL; WANG, 2010).

#### 2.2.3.5 Sensium

Tecnologia proprietária projetada especificamente para utilização em aplicações de saúde e gerenciamento de estilo de vida. Apresenta como principais características: transceptor de baixíssimo consumo, baixa taxa de dados e arquitetura de rede mestre-escravo onde os escravos são os sensores junto ao corpo que, periodicamente, enviam leituras dos sensores para um nó central da rede (PATEL; WANG, 2010).

#### 2.2.3.6 Zarlink

A Zarlink desenvolveu o ZL70101, um transceptor de baixíssimo consumo para aplicações com implantes médicos que operam na banda MedRadio. Para garantir a confiabilidade utiliza código Reed-Solomon em conjunto com algoritmos de verificação de redundância cíclica. A máxima taxa de erro de bit é menor que  $1,5 \times 10^{-10}$ . Quando configurado para operar no modo de implante, o transceptor permanece “adormecido” (de tal forma que o consumo de energia se torna

baixíssimo) até que receba um sinal especialmente codificado na frequência de 2,45 GHz para acordar ou tenha que enviar alguma mensagem de emergência (PATEL; WANG, 2010).

#### 2.2.3.7 IEEE 802.15.6

Apesar de algumas tecnologias aqui mencionadas apresentarem algumas características que se enquadram nos requisitos técnicos para redes de sensores corporais, nenhuma contempla todos eles e pode ser considerada a tecnologia destinada para esse fim. Por isso o IEEE 802.15.6 Task Group está desenvolvendo o primeiro padrão industrial abrangendo as camadas físicas e de controle de acesso ao meio para redes corporais sem fio. Com isso, espera-se conseguir, principalmente, taxas de dados mais rápidas com um menor consumo de energia (de modo a ocupar o vazio apresentado na figura 4) (PATEL; WANG, 2010).

Além disso, ainda segundo Patel e Wang (2010), “o sucesso de várias tecnologias sem fio como o Wi-Fi e o Bluetooth, é impulsionada pela padronização.” Com um padrão definido se torna possível reduzir os custos de produção (explorando a produção em larga escala), libertar o consumidor de um fornecedor específico (permitindo que cada um compre o que melhor se adéqua as suas necessidades) e permitir a interoperabilidade (PATEL; WANG, 2010).

Entretanto, para permitir total interoperabilidade é necessário padronizar todas as camadas da pilha de protocolos, os perfis de aplicação e os formatos dos dados trocados. Isso está sendo feito pelo ISO/IEEE 11073 Personal Health Data Working Group (que está padronizando aplicações de transporte independentes e perfis de informação – incluindo formato dos dados, das trocas de dados e terminologias) e a Continua Health Alliance (que está desenvolvendo diretrizes de interoperabilidade, testes e programas de certificação para ecossistemas de telesaúde pessoal emergentes que focam no controle de doenças, envelhecimento de forma independente, cuidados com a saúde e condicionamento físico) (PATEL; WANG, 2010).

#### 2.2.4 Uso de Rádios Cognitivos

Segundo Feng, Liang e Zhao (2010), “um problema comum com redes que trabalham na porção não licenciada do espectro é o aumento na dificuldade em provisionar qualidade de serviço.”. Ainda segundo eles, devido a grande quantidade de tecnologias que utilizam essa banda (redes locais sem fio baseadas no padrão IEEE 802.11, redes pessoais sem fio baseadas no padrão 802.15 e redes WiMAX baseadas no padrão 802.16) transmissões podem experimentar grande interferência tornando difícil de prever a qualidade de um serviço. Outros desafios são a utilização do espectro, a segurança e as colisões de transmissão dentre outros problemas entre as mesmas ou diferentes tecnologias sem fio que usam a mesma banda.

Uma forma de conseguir um maior controle sobre a qualidade do serviço é utilizar porções licenciadas do espectro. O ponto negativo dessa abordagem é o aumento nos custos. Embora possa haver um controle maior sobre a qualidade de serviço oferecida, a infra-estrutura de rede e os protocolos precisam ser repensados para atender os requisitos de aplicações de telemedicina e isso pode não ser muito fácil. Os tipos de tráfego necessários variam de acordo com as aplicações. Em alguns casos existe a necessidade de muita largura de banda com controle rigoroso de atraso e jitter (o que pode reduzir muito a capacidade e a qualidade de serviço de outros tráfegos existentes na mesma banda). Em outros casos faz-se necessária a reserva de recursos da rede para o envio de mensagens urgentes mas isso significa desperdiçar recursos de rede para um tráfego extremamente esporádico e com baixa taxa de dados. Portanto, o protocolo de acesso ao meio e a reserva de recursos precisam ser especificamente projetados para tráfego de aplicações de telemedicina objetivando suportar os requisitos de qualidade de serviço e utilizar de forma eficiente os recursos do canal (FENG; LIANG; ZHAO, 2010).

De acordo com Feng, Liang e Zhao (2010), “a construção de uma rede de rádio cognitivo pode ser uma abordagem promissora para prover serviços de telemedicina com requisitos rigorosos de qualidade de serviço.” Segundo eles, a baixa utilização da porção licenciada do espectro deixa uma grande quantidade de recursos livre podendo ser utilizada por redes de rádios cognitivos.

Rádios cognitivos surgiram recentemente como uma técnica promissora para melhorar a eficiência das comunicações sem fio através do aumento da utilização do espectro e da redução da interferência não intencional. Para isso, seu

transceptor pode observar e aprender o estado do ambiente de operação (identificando canais subutilizados e super utilizados, por exemplo) e adaptar os parâmetros de transmissão (PHUNCHONGHARN et al., 2010).

Com a capacidade de observar, aprender e acessar o espectro dinamicamente, um sistema de rádio cognitivo pode permitir um acesso ao espectro com diferenciação de qualidade de serviço entre diferentes aplicações de cuidados com a saúde. (PHUNCHONGHARN et al., 2010).

## 2.3 Estudos de Caso

Essa seção apresenta e analisa alguns dos projetos de monitoramento remoto de pacientes que estão em desenvolvimento no mundo.

### 2.3.1 AlarmNet

Desenvolvido na Universidade de Virgínia, é definido por Wood et al. (2008) como “uma rede de monitoramento residencial e de vida assistida para cuidados com a saúde adaptativos e universais em comunidades com residentes ou pacientes com necessidades diversas”, e que, ainda segundo eles, apresenta as seguintes características principais:

- Um software de gerência de rede extensível que trata os problemas de implantação em larga escala e integra dispositivos embarcados (sensores, etc.), sistemas de *back-end*, análises em tempo real e interfaces com usuários;
- Novos protocolos sensíveis ao contexto e que usam os fluxos de informações nos dois sentidos (dados coletados do ambiente e do sistema e dados gerados pelas análises feitas pelos sistemas de *back-end*) para permitir o gerenciamento de energia e alertas dinâmicos respeitando a privacidade e adaptados aos padrões de atividade individuais;

- Um protocolo de consulta (denominado SenQ) otimizado para consultar sensores de forma eficiente integrado com a privacidade, controle de energia e análise de atividade.

A figura 5, abaixo, ilustra a arquitetura do sistema AlarmNet.

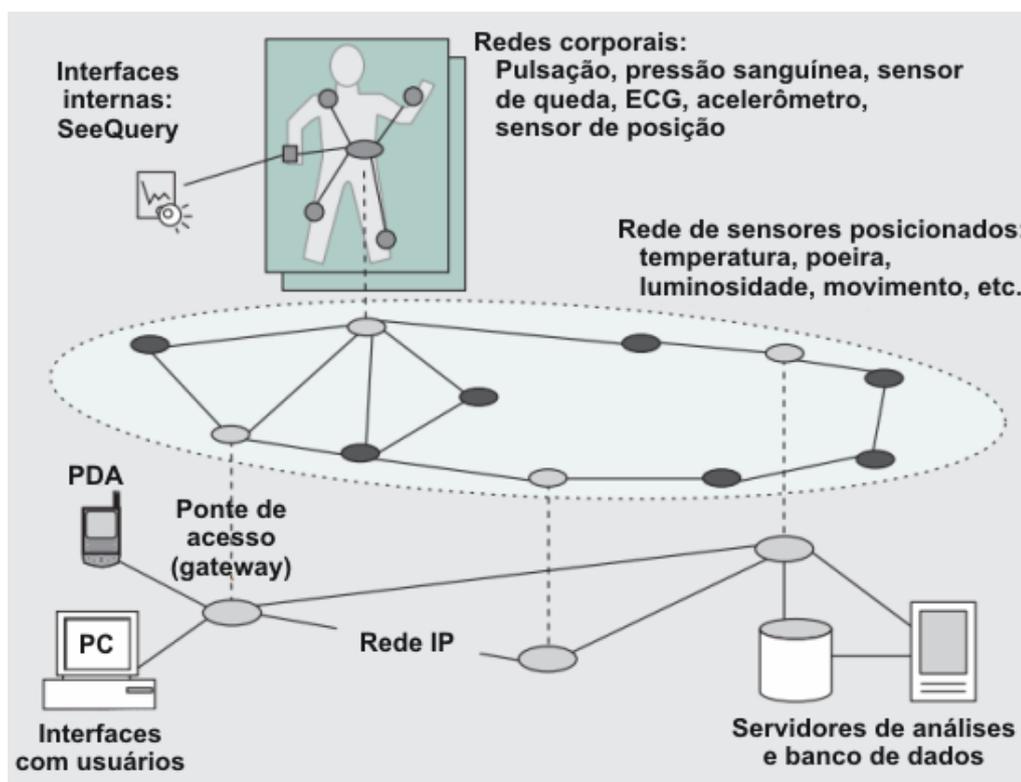


Figura 5 – Arquitetura do Sistema AlarmNet  
Fonte: Wood et al. (2008, p.27).

Segundo Wood et al. (2008), um requisito chave para sistemas de cuidados com a saúde é a capacidade de operar continuamente durante longos períodos de tempo e ainda integrar novas tecnologias quando elas se tornarem disponíveis e, segundo eles, o sistema AlarmNet possibilita isso. Esse sistema unifica e acomoda dispositivos heterogêneos em uma arquitetura comum que abrange redes corporais sem fio (permitindo monitoramento de pulsação, posição, quedas, etc.), sensores sem fio dispostos no ambiente (temperatura, luminosidade, movimento, etc.), interfaces com usuários e elementos de processamento e armazenamento de dados (o sistema de *back-end*).

### 2.3.2 CodeBlue

Segundo Malan et al. (2004), o projeto CodeBlue, desenvolvido na Universidade de Harvard, é um substrato eficiente para comunicação sem fio para equipamentos médicos que, dentre suas funcionalidades, orienta a formação de redes ad hoc, a nomeação e descoberta, o roteamento, gerencia a segurança e a autenticação bem como a filtragem e a agregação dos dados dos sinais vitais.

Foi concebido para ser totalmente escalável, podendo operar em uma vasta gama de redes com densidades diversas (indo de ambientes como clínicas e hospital – redes esparsas – a até locais de acidente em massa – redes muito densas) (MALAN et al. 2004).

Os primeiros protótipos do CodeBlue foram projetados utilizando rádios Chipcon CC1000 que operam nas faixas de frequência de 433 MHz ou 916 MHz e possuem máxima taxa de dados de 76,8 kbps (MALAN et al., 2004). Nas versões seguintes foram substituídos por rádios Chipcon CC2420 que utilizam o padrão IEEE 802.15.4 (ZigBee) (HARVARD, 2011).

A utilização de uma rede ad hoc permite que a conectividade se estenda através de um prédio todo ou até mesmo entre prédios. Essa arquitetura permite que, caso seja necessária uma cobertura adicional, basta que novos nós sejam posicionados. Outra vantagem é a confiabilidade que a rede adquire pois a perda de um nó não significa a interrupção da transmissão dos dados já que a rede se auto-organiza para se adaptar a nova situação. Além disso, a comunicação independe de uma infra-estrutura sem fio pré-existente (MALAN et al., 2004).

### 2.3.3 Mobihealth

Segundo Van Halteren et al. (2004), o projeto MobiHealth, apoiado pela Comissão da União Européia, foi desenvolvido como uma plataforma inovadora de serviços móveis de saúde para pacientes e profissionais da área. Foi baseado na idéia de que “no futuro, pacientes poderão receber orientação médica à distância e serão capazes de enviar medições completas, detalhadas e precisas dos sinais

vitais independente de onde estiverem” (VAN HALTEREN et al., 2004, p.365). Ainda segundo ele, esses dados coletados são equivalentes aos que seriam coletados em centros médicos com a vantagem de que o paciente não precisará ir até um deles, criando desse modo o conceito de “cuidados médicos onipresentes”.

O sistema fornece uma plataforma completa, ponta a ponta, de monitoramento móvel para pacientes implantada sobre redes UMTS e GPRS. Isso é possível equipando o paciente com diferentes sensores que monitoram seus sinais vitais de forma contínua e que estão conectados entre si através de uma rede corporal de sensores sem fio (que se comunicam através de redes de curto alcance utilizando tecnologias como o Bluetooth ou ZigBee). Os dados coletados pelos sensores são concentrados em um ponto central da rede corporal, denominada, nesse sistema, de Unidade Base Móvel (MBU – *Mobile Base Unit*). Esse ponto central, além da responsabilidade de coletar as informações da rede corporal, também é responsável por transmiti-las, através das redes UMTS ou GPRS, para o sistema central remoto do projeto MobiHealth (onde uma equipe médica responsável faz o monitoramento). Nesse projeto as comunicações dentro da rede corporal de sensores são denominadas *intra-BAN* enquanto as comunicações entre a Unidade Base Móvel e os servidores do sistema são denominadas *extra-BAN* (VAN HALTEREN et al., 2004).

A figura 6, abaixo, ilustra a arquitetura descrita.

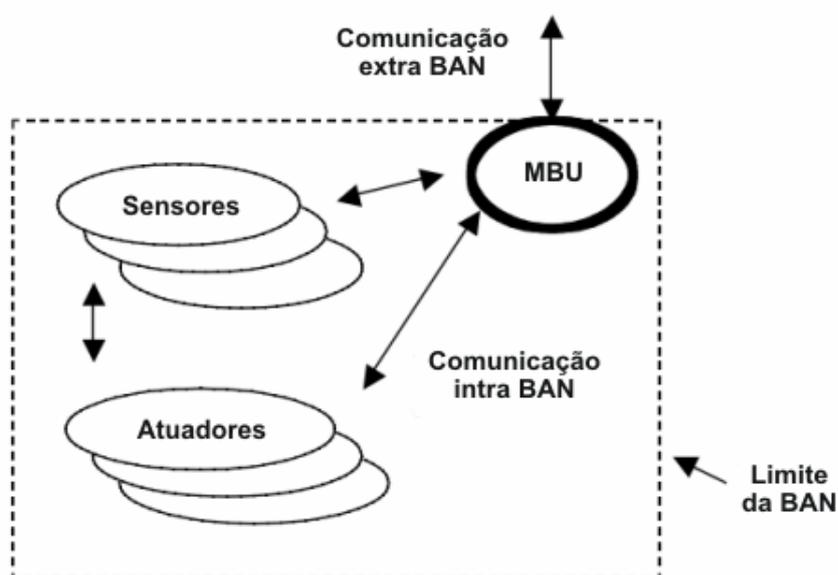


Figura 6 – Arquitetura do Projeto MobiHealth  
Fonte: Van Halteren et al. (2004, p.366).

O sistema foi desenvolvido e implantado e testes em vários países (Alemanha, Holanda, Espanha e Suécia) foram feitos com vários tipos de aplicações diferentes (monitoramento remoto de arritmias cardíacas, gravidez de alto risco, pacientes com insuficiência respiratória, monitoramento remoto em áreas rurais, etc.). Um problema fundamental encontrado foi que redes UMTS são projetadas para que os usuários finais sejam consumidores de dados e não geradores dos mesmos, ou seja, os terminais e as próprias redes não foram projetados para suportar grandes taxas de dados saindo dos usuários e indo no sentido dos provedores do sistema MobiHealth. Ainda relacionado com a rede foi encontrado um problema de degradação de desempenho quando vários usuários em uma mesma região tentaram transmitir uma grande quantidade de informações em uma alta taxa de dados. Foram também encontrados problemas com protocolos utilizados na camada de aplicação (o protocolo http foi utilizado para o transporte dos sinais vitais) que provocavam sobrecarga nos dispositivos e falta de conectividade em aplicações de tempo real (VAN HALTEREN et al., 2004).

Das lições aprendidas ficou a certeza de que há viabilidade mas vários pontos precisam ser aprimorados. Alguns problemas, entretanto, não podem ser resolvidos com as tecnologias usadas inicialmente pelo projeto (como, por exemplo, a limitação de banda das tecnologias GPRS e UMTS para algumas aplicações onde se faz necessário o monitoramento de vários sinais simultaneamente de um mesmo usuário) (VAN HALTEREN et al., 2004).

O custo total do projeto foi de 8,19 milhões de euros sendo que, desse total, a União Européia contribuiu com 4,95 milhões de euros (EUROPA, 2001).

#### 2.3.4 Tunstall

A Tunstall Healthcare é uma empresa dinamarquesa que oferece soluções comerciais de telemedicina que auxiliam a melhorar a qualidade de vida e ajudam a evitar internações hospitalares desnecessárias (TUNSTALL, 2011).

O sistema é composto de um software e um equipamento que pode se comunicar (através de uma rede sem fio ou conexão cabeada) com uma série de dispositivos externos de diversos fabricantes (utilizando para isso a tecnologia

Bluetooth) tais como balanças, monitores de pressão sanguínea, medidores de glicose, espirômetros, oxímetros, monitores de coagulação sanguínea e gravadores de sinais de eletrocardiografia (TUNSTALL, 2011).

Além de se comunicar com dispositivos externos, o mesmo equipamento é utilizado para se conectar a um servidor central (através da internet, utilizando redes de telefonia celular – GPRS – ou a rede de telefonia convencional - modem) e repassar as informações coletadas dos dispositivos externos para que uma equipe de monitoramento as avalie e intervenha caso necessário (TUNSTALL, 2011).

Além das duas funcionalidades já mencionadas, o mesmo equipamento é também utilizado para coletar informações do usuário através de questionários pré-gravados (onde o usuário pode responder a questões – como por exemplo, “Você sente falta de ar?” - pressionando um botão para “Sim” ou outro para “Não”).

A figura 7, abaixo, fornece uma idéia geral sobre como o sistema funciona.

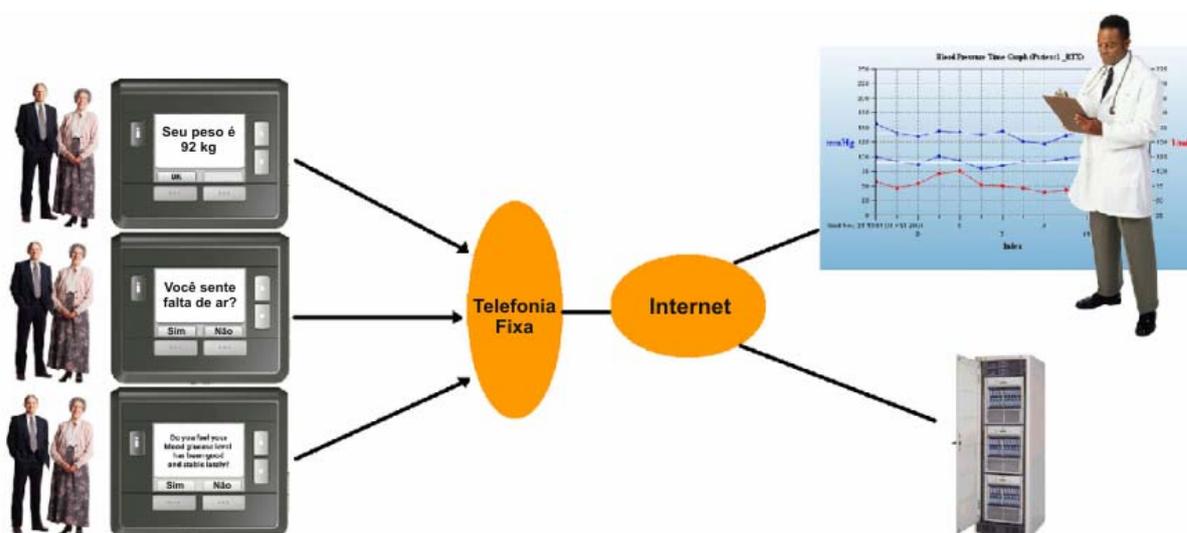


Figura 7 – Visão Geral do Sistema de Telemedicina da Tunstall Healthcare  
Fonte: Tunstall (2011).

## 2.4 Questões Controversas

Os benefícios introduzidos pelas aplicações de saúde eletrônica são inegáveis. Mas, com eles, vieram também os riscos. Mais especificamente

vulnerabilidades de privacidade e segurança que inclusive já foram exploradas em casos de roubo de dados de prontuários eletrônicos seguida pela venda das informações neles contidas. Tornou-se urgente a necessidade do desenvolvimento de arquiteturas ou mecanismos para a proteção dos dados confidenciais ou sensíveis onde quer que eles estejam (SUN; FANG; ZHU, 2010).

Nos sistemas de saúde eletrônica, dados médicos confidenciais são a base de quase todas as operações efetuadas. Portanto, o projeto do sistema deve prever normas claras de criação, modificação, deleção, armazenamento e compartilhamento desses dados. Não se pode esquecer que educar e treinar as equipes de profissionais que utilizarão o sistema é tão ou mais importante que criar mecanismos de segurança para garantir que todas as normas e políticas de privacidade sejam cumpridas (SUN; FANG; ZHU, 2010).

Privacidade é o principal problema relativo aos pacientes na saúde eletrônica. Sem garantias de privacidade os prontuários eletrônicos podem sofrer vazamentos e causar conseqüências que mudam vidas como dificuldades em se conseguir seguros ou empregos, ou passar a ser discriminado por possuir certas doenças. (SUN; FANG; ZHU, 2010).

Entretanto, segundo Sun, Fang e Zhu (2010) é necessário um equilíbrio entre a alta confidencialidade e as necessidades momentâneas como, por exemplo, situações críticas onde dados de um paciente são imprescindíveis para salvar sua vida. Achar esse ponto de equilíbrio talvez seja o maior desafio.

#### 2.4.1 Registro Eletrônico de Saúde (EHR – *Electronic Health Record*)

O registro eletrônico de saúde é a peça central dos sistemas de saúde eletrônica. É onde ficam armazenadas informações como imagens de exames, resultados de testes laboratoriais, medicações, histórico médico, informações sobre despesas médicas, dados coletados por sistemas de monitoramento (tais como pulsação, etc.) dentre outras informações (SUN; FANG; ZHU, 2010).

As principais vantagens em relação aos prontuários em papel são, segundo Sun, Fang e Zhu (2010), o aumento da eficiência das equipes médicas e a redução dos custos de armazenamento e erros médicos.

Apesar de existirem casos onde o EHR foi implementado com sucesso, como por exemplo no Sistema de Saúde Dos Veteranos (nos Estados Unidos) que é

atualmente composto por 155 hospitais e 800 clínicas por todo país que usam uma base de dados centralizada, existem barreiras contra a implementação desse tipo de sistema. As maiores são, com certeza, relacionadas a preocupações em relação à segurança dos dados e a privacidade dos pacientes tendo em vista que, inevitavelmente, todos os dados serão armazenados em servidores remotos (do provedor de serviços de saúde, do centro de monitoramento, etc.) e os mesmos serão compartilhados pela internet para tratamento cooperativo (entre vários médicos da mesma ou de especialidades diferentes), resposta a emergências, pesquisa médica, etc. e, nesse momento, podem estar sujeitos a roubos devido a falhas na segurança dos sistemas (SUN; FANG; ZHU, 2010).

Para tentar resolver questões de segurança, órgãos como o HIPAA (*The Health Insurance Portability and Accountability Act*) nos Estados Unidos estabeleceram normas para operações relacionadas com o EHR. Entretanto alguns quesitos não são tratados adequadamente nos documentos como, por exemplo, questões relativas à privacidade. Independente de normas governamentais, padronizações e estratégias globais são necessárias para garantir que a privacidade possa ser controlada nas redes de seguradoras, clínicas médicas, hospitais e outros provedores de saúde (SUN; FANG; ZHU, 2010).

#### 2.4.2 Requisitos de Segurança e Privacidade para Sistemas de Saúde Eletrônica

Essa seção abordará uma lista de problemas que, segundo Sun, Fang e Zhu (2010), preocupam os pacientes e servirão como requisitos e/ou objetivos para o projeto dos futuros sistemas de saúde eletrônica incluindo, dentre eles, sistemas de monitoramento remoto de pacientes.

##### 2.4.2.1 Privacidade

De acordo com Sun, Fang e Zhu (2010), a privacidade é um dos fatores mais importantes pois a divulgação indevida de informações médicas sobre

pacientes pode causar problemas legais e prejudicar suas vidas. Como exemplos, eles citam casos fictícios onde empregadores podem se recusar a dar empregos para pessoas caso saibam que elas tenham doenças psicológicas, casos em que seguradoras se neguem a fazer seguros (ou aumentem os preços de forma abusiva) para pacientes que saibam ter histórico de doenças ou ainda situações em que o desejo do paciente não é respeitado e sua condição de saúde é revelada para sua família.

A privacidade nos sistemas de saúde eletrônica, segundo Sun, Fang e Zhu (2010), compreende dois requisitos diferentes: o anonimato e o desvinculamento (sendo que o primeiro é um pré-requisito para o segundo).

A primeira se refere à possibilidade de esconder de certas partes a informação que identifica um paciente em seu registro médico eletrônico, impossibilitando assim que certos dados possam ser associados a pacientes por companhias de seguro, pesquisadores, departamentos de recursos humanos, etc. que não tenham os privilégios necessários para tal. Entretanto, essas informações precisam continuar sendo associáveis para que hospitais (médicos e enfermeiras), serviços de atendimento de urgência etc. continuem sendo capazes de atender e cobrar o atendimento de um paciente. Uma possível técnica para atingir esse objetivo é através do uso de criptografia (SUN; FANG; ZHU, 2010).

Já em relação ao desvinculamento, ele deve impossibilitar que múltiplos dados médicos contidos em registros médicos eletrônicos de um paciente possam ser associados ao mesmo dono (o paciente). A necessidade dessa técnica é impedir que sejam traçados perfis de usuários (por companhias de seguro – que podem tentar obter mais informações sobre determinado paciente do que as que ele deseja revelar - ou nas centrais que armazenam os dados de registros médicos – que podem, a princípio, ser consideradas curiosas mas honestas, significando que irão consultar os dados mas não irão modificá-los nem solicitar mais informações do que as autorizadas e necessárias) (SUN; FANG; ZHU, 2010).

Entretanto existem casos que requerem atenção especial. A anonimização dos dados não é suficiente para manter a privacidade enquanto for possível, por exemplo, identificar o usuário através do seu endereço IP (Internet Protocol – Protocolo Internet) em sistemas de monitoramento remoto que utilizam a Internet para trafegar dados. Nesses casos será necessário um mecanismo adicional para garantir a privacidade total dos pacientes. Outro cenário que requer atenção é a

autenticação dos sistemas de monitoramento remoto nos servidores centrais para envio de dados coletados do paciente e ou do ambiente onde se encontra. Pensando em um sistema de autenticação utilizando chaves assimétricas, a chave pública do usuário precisa também ser anônima (o que pode ser feito utilizando pseudônimos ou credenciais anônimas) (SUN; FANG; ZHU, 2010).

#### 2.4.2.2 Controle de Acesso

Segundo Sun, Fang e Zhu (2010), “o controle de acesso é o responsável sobre quem pode acessar os registros médicos eletrônicos dos pacientes e quais partes podem ser acessadas.” A idéia é centralizar no paciente o controle de acesso sobre seus dados. Isso está de acordo com as normas estabelecidas por órgãos como o HIPAA que determina que autorização adicional será necessária para quaisquer outros fins que não sejam atendimento e cobrança sobre os serviços prestados (SUN; FANG; ZHU, 2010).

A melhor solução para gerenciar o acesso em sistemas de saúde eletrônica, até o momento, é realizar um controle baseado em funções (ou cargos, por exemplo, médicos, enfermeiras, atendimento de urgência, farmacêutico, departamento de cobranças, etc.). Essa solução simplifica a tarefa de controlar o acesso pois permissões são concedidas a um grupo e não individualmente. Há casos em que pacientes terão de ser examinados e tratados por especialistas que normalmente não teriam acesso a seus dados no sistema. Para resolver isso, acessos temporários seriam concedidos a eles durante o curso do exame ou do tratamento e mais tarde, tais acessos seriam simplesmente revogados. A delegação de privilégios seria feita por provedores de serviços de saúde (hospitais e médicos, por exemplo) e a revogação dos mesmos seria também de responsabilidade deles. Em sistemas de controle de acesso baseado em funções normalmente um usuário com determinados privilégios somente pode delegar a outros os mesmos privilégios que possui ou uma menor quantidade de privilégios do que ele possui (SUN; FANG; ZHU, 2010).

De acordo com Sun, Fang e Zhu (2010), técnicas de criptografia podem ser usadas para implementar essa abordagem de controle de acesso por funções.

Para isso é necessário que as porções dos registros eletrônicos de saúde sobre as quais se deseja controlar o acesso sejam criptografadas utilizando chaves públicas que descrevam a função e, desse modo, apenas os usuários com as chaves privadas baseadas na mesma função podem acessar os dados protegidos.

#### 2.4.2.3 Autenticação

Um dos pré-requisitos para que as operações realizadas sobre o sistema sejam seguras é garantir a legitimidade e a autenticidade de ambos os lados do processo de comunicação. Essa é a idéia por trás da autenticação (que, portanto, deve ser o primeiro passo de toda comunicação no sistema) (SUN; FANG; ZHU, 2010).

De acordo com Sun, Fang e Zhu (2010), nos sistemas de saúde eletrônica a autenticação deve se basear em uma infra-estrutura de chaves pública (PKI – *Public Key Infrastructure*) onde um par de chaves criptográficas pública e privada são indispensáveis. Mas segundo eles, atribuir pares de chaves em sistemas como esse é um desafio já que a maior parte das comunicações acontece nos modelos entre domínios (domínio é o espaço onde uma autoridade confiável pode facilmente atribuir pares de chaves para cada entidade e validá-las a cada comunicação).

Nos sistemas de saúde eletrônica, organizações como hospitais, clínicas, companhias de seguro, institutos de pesquisa, centros de monitoramento e centros de tratamento ambulatorial podem ser consideradas individualmente como domínios confiáveis onde um servidor é designado em cada domínio para atribuir pares de chaves para cada empregado dentro da sua própria organização. Isso acaba gerando um problema em comunicações entre domínios (por exemplo, um hospital acessando as informações sobre um paciente que estão armazenadas em um centro de monitoramento). Do lado do usuário, nesse cenário, é esperado que cada um possua pares de chaves de todas as organizações com as quais tenha relacionamentos. Para resolver isso uma autoridade certificadora comum (CA - *Certificate Authority*) se faz necessária ou então um sistema criptográfico hierárquico baseado em entidades de modo a estabelecer um ponto de confiança comum entre as partes (SUN; FANG; ZHU, 2010).

#### 2.4.2.4 Confidencialidade e Integridade

Segundo Sun, Fang e Zhu (2010), “confidencialidade e integridade são vitais nos registros eletrônicos de saúde.” A idéia por trás da confidencialidade é garantir que somente pessoas devidamente autorizadas tenham acesso a partes ou ao registro eletrônico de saúde completo e isso pode ser conseguido através do uso de primitivas de criptografia. Ela é necessária quando a divulgação de algumas informações sensíveis nos registros de saúde não é desejada mesmo que com essa informação não seja possível identificar seu dono (SUN; FANG; ZHU, 2010).

Sobre a integridade, Sun, Fang e Zhu (2010) afirmam que ela precisa ser garantida para que alterações ilegais de registros eletrônicos originais possam ser detectadas e auditadas posteriormente. Ainda de acordo com eles, pode-se considerar esse requisito como crítico pois alterações indevidas, intencionais ou não, podem causar conseqüências fatais. Segundo Li, Lou e Ren (2010), falhas em obter informações médicas autênticas e/ou corretas possivelmente impedirão que um paciente receba o tratamento correto (ou um tratamento efetivo).

Dentre as possíveis maneiras de garantir a integridade, segundo Sun, Fang e Zhu (2010), estão:

- Utilização de assinaturas digitais baseadas em chaves públicas;
- Utilização de códigos de autenticação de mensagens baseados em chaves simétricas;
- Emprego de técnicas de aplicação de marcas d'água (abordagem não criptográfica, aqui o grande desafio é minimizar o impacto sobre a qualidade dos documentos que passaram por essa técnica, principalmente em se tratando de áudio e vídeo, de forma a não prejudicar possíveis diagnósticos por distorções nas informações geradas).

#### 2.4.2.5 Disponibilidade

De acordo com Sun, Fang e Zhu (2010) a disponibilidade pode ser afetada, dentre outros fatores, por ataques de negação de serviço (DoS – *Deny of Service*) ou negação de serviço distribuída (DDoS – *Distributed Deny of Service*).

Nesse tipo de cenário o atacante envia um fluxo muito grande de solicitações contendo requisições de acesso falsas para servidores que armazenam registros eletrônicos de saúde de modo a torná-los incapaz de responder solicitações verdadeiras o que dificulta o acesso aos dados por clientes reais (SUN; FANG; ZHU, 2010).

Pensando em redes corporais sem fio para monitoramento remoto de pacientes, um atacante poderia utilizar técnica semelhante e saturar o canal sem fio utilizado pela rede causando problemas na entrega das informações monitoradas (informações essas muitas vezes críticas e de tempo real). Nesse caso, a melhor solução atualmente para diminuir os impactos de um ataque desse tipo é a utilização de técnicas de processamento de sinais (SUN; FANG; ZHU, 2010).

#### 2.4.2.6 Responsabilidade

Esse quesito consiste na capacidade de rastrear, identificar e responsabilizar as partes que se comportaram mal durante o uso do sistema de saúde eletrônica. Nesse contexto, “comportar-se mal” significa não seguir as regras pré-estabelecidas de acesso aos sistemas (de atividades que violam as normas regulatórias, de privacidade e de segurança a até mesmo divulgação de registros eletrônicos de saúde sem a devida permissão ou a alteração dos mesmos quebrando sua integridade) (SUN; FANG; ZHU, 2010).

Rastrear, identificar e responsabilizar se torna possível através da combinação de mecanismos de auditoria (para determinar “o que fez”) e uso de assinaturas digitais (para determinar “quem fez”) (SUN; FANG; ZHU, 2010).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma revisão sobre a literatura mais recente disponível que trata sobre o uso de tecnologias sem fio no monitoramento remoto de pacientes, uma das muitas áreas da chamada Saúde Eletrônica.

Foram abordados conceitos comuns na área, os principais desafios que precisam ser superados (para que os futuros projetos de sistemas de telemedicina operem com todo seu potencial e para que a adoção em massa da tecnologia seja viável) e as questões controversas sobre o tema. Além disso, foram apresentados estudos de caso de projetos acadêmicos e produtos comerciais que oferecem, de algum modo, algum nível de monitoramento remoto sem fio para pacientes.

De acordo com Fang (2010), um estudo realizado em agosto de 2009 pela Parks Associates, uma empresa de pesquisas de mercado, tendo como público alvo o mercado norte americano revelou que o setor de aplicações e serviços sem fio para cuidados com a saúde em domicílio crescerá a uma taxa anual acima de 180% e se tornará, até 2013, uma indústria de 4,4 bilhões de dólares. Em parte isso justifica o fato de existirem numerosos projetos de monitoramento remoto sem fio sendo desenvolvidos atualmente além dos que já estão sendo comercializados.

Apesar da grande quantidade, pode-se dizer que todos apresentam limitações que os impede de serem classificados como o projeto definitivo da área. Entretanto, apresentar limitações não significa dizer que tais projetos, comerciais ou acadêmicos, não contribuam para o avanço da tecnologia. Isso porque muitos deles se baseiam na experiência obtida com projetos anteriores (como o MobiHealth, por exemplo) e, desse modo, são evoluções dos mesmos.

Em relação às tecnologias sem fio, o fator que, sem dúvida, irá alavancar futuros projetos na área é a padronização das tecnologias para redes corporais sem fio (atualmente chamado de IEEE 802.15.6) (PATEL; WANG, 2010). Ainda em relação às tecnologias sem fio, a utilização de rádios cognitivos merece destaque pois demonstrou, em simulações e experimentos práticos, grande potencial para utilização em aplicações de saúde eletrônica (em especial, no monitoramento remoto de pacientes) (PHUNCHONGHARN et al., 2010) (FENG; LIANG; ZHAO, 2010).

Já em relação às questões de segurança, conforme afirmam Sun, Fang e Zhu (2010), “a implementação de padrões ou estratégias irão com certeza depender de detalhes técnicos pouco estudados e isso abrirá numerosas oportunidades de pesquisa”. Essa opinião é compartilhada por Li, Lou e Ren (2010) que acreditam que “a pesquisa nessa área ainda está na infância atualmente”. Entretanto pode-se dizer que é consenso que a criptografia é uma das respostas para as questões de segurança e privacidade sendo que algoritmos criptográficos assimétricos de curva elíptica têm se destacado por apresentar segurança similar aos mais robustos algoritmos atuais mas com custos computacionais reduzidos (o que é interessante em uma área onde os recursos computacionais são escassos e os gastos com energia precisam ser controlados) (REN; PAZZI; BOUKERCHE, 2010).

Segundo Shen, Kato e Lin (2010), os sistemas de saúde eletrônica (principalmente aqueles baseados em redes heterogêneas, como os de monitoramento remoto sem fio de pacientes que usam redes corporais para coleta de dados e redes pessoais ou locais para envio das informações coletadas) “estão surgindo como uma abordagem promissora para prover serviços médicos de alta qualidade e respostas e tratamentos mais eficientes aos pacientes”. Entretanto, para atingir esse objetivo, os desafios apresentados nesse trabalho precisam ser enfrentados e soluções a eles precisam ser apresentadas. Só assim essa visão de uma rede onipresente de cuidados para a saúde pode se tornar realidade.

## REFERÊNCIAS

CHENG, Ho T.; ZHUANG, Weihua. Bluetooth-Enable In-Home Patient Monitoring System: Early Detection Of Alzheimer's Disease. **IEEE Wireless Communications**, v. 17, n. 1, p.74-79, fev. 2010.

COSTA, Claudio Giulliano Alves da. **Desenvolvimento e avaliação tecnológica de um sistema de prontuário eletrônico do paciente, baseado nos paradigmas da World Wide Web e da engenharia de software**. 2001.268 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

EUROPA. Comissão Européia. ICT - Information and Communication Technologies. **MOBIHEALTH : Mobile Health Care**. Europa, 2001. Disponível em: <[http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=PROJ\\_ICT&ACTION=D&CAT=PROJ&RCN=64575](http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=PROJ_ICT&ACTION=D&CAT=PROJ&RCN=64575)>. Acesso em: 18 jun. 2011.

FANG, Yuguang M. Message from the editor-in-chief. **IEEE Wireless Communications**, v. 17, n. 1, p.1-2, fev. 2010.

FENG, Shan; LIANG, Zhongliang; ZHAO, Dongmei. Providing Telemedicine Services In An Infrastructure-Based Cognitive Radio Network. **IEEE Wireless Communications**, v. 17, n. 1, p.96-103, fev. 2010.

HARRISON, Jeffrey P.; LEE, Angela. The Role of E-Health in the Changing Health Care Environment. **Medscape News**, 21 fev. 2007. Disponível em <<http://www.medscape.com/viewarticle/551712>>. Acesso em 5 mar. 2011.

HARVARD. Harvard Sensor Networks Lab. **CodeBlue: Wireless Sensors for Medical Care**. Cambridge, 2011. Disponível em: <<http://fiji.eecs.harvard.edu/CodeBlue>>. Acesso em: 18 de jun. 2011.

LI, Ming; LOU, Wenjing; REN, Kui. Data security and privacy in wireless body area networks. **IEEE Wireless Communications**, v. 17, n. 1, p.51-58, fev. 2010.

MALAN, David et al. CodeBlue: an Ad Hoc Sensor Network Infrastructure for Emergency Medical Care. In: International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2004. Londres. Disponível em <<http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:3191012>>. Acesso em: 18 jun. 2011.

MISIC, Jelena; MISIC, Vojislav B. Bridge performance in a multitier wireless network for healthcare monitoring. **IEEE Wireless Communications**, v. 17, n. 1, p.90-95, fev. 2010.

PATEL, Maulin; WANG, Jianfeng. Applications, Challenges, And Prospective In Emerging Body Area Networking Technologies. **IEEE Wireless Communications**, v. 17, n. 1, p.80-88, fev. 2010.

PHUNCHONGHARN, Phond et al. A Cognitive Radio System For E-Health Applications In a Hospital Environment. **IEEE Wireless Communications**, v. 17, n. 1, p.20-28, fev. 2010.

REN, Yonglin; PAZZI, Richard.W. N.; BOUKERCHE, Azzedine. Monitoring patients via a secure and mobile healthcare system. **IEEE Wireless Communications**, v. 17, n. 1, p.59-65, fev. 2010.

SHEN, Xuemin; KATO, Nei; LIN, Xiaodong. Guest Editorial. **IEEE Wireless Communications**, v. 17, n. 1, p.10-11, fev. 2010.

STOKOWSKI, Laura A.. Healthcare Anywhere: The Pledge of Telehealth. **Medscape News**, 30 out. 2008. Disponível em <<http://www.medscape.com/viewarticle/581800>>. Acesso em 5 mar. 2011.

SUN, Jinyuan; FANG, Yuguang; ZHU, Xiaoyan. Privacy and emergency response in e-healthcare leveraging wireless body sensor networks. **IEEE Wireless Communications**, v. 17, n. 1, p.66-73, fev. 2010.

TONINELLI, Alessandra; MONTANARI, Rebecca. CORRADI, Antonio. Enabling secure service discovery in mobile healthcare enterprise networks. **IEEE Wireless Communications**, v. 16, n. 3, p.24-32, jun. 2009.

TUNSTALL. Tunstall Healthcare Group. **Tunstall Healthcare**. Dinamarca, 2011. Disponível em: <<http://www.tunstallhealthcare.com> >. Acesso em: 18 jun. 2011.

VAN HALTEREN, Aart et al. Mobile Patient Monitoring: The MobiHealth System. **The Journal on Information Technology in Healthcare**, v. 2, n. 5, p.365-373. Disponível em: <[http://eprints.eemcs.utwente.nl/7437/01/jith2\(5\)\\_konstantas\\_et\\_al.pdf](http://eprints.eemcs.utwente.nl/7437/01/jith2(5)_konstantas_et_al.pdf)> . Acesso em: 18 jun. 2011.

WOOD, Anthony D. et al. Context-aware wireless sensor networks for assisted living and residential monitoring. **IEEE Network**, v.22, n. 4, p. 26-33, jul. 2008.