

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WBAN PARA GONIOMETRIA

**Felipe Lara Pfeifer Macedo
Rosivaldo Costa Santana**

Brasília, dezembro de 2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WBAN
PARA GONIOMETRIA**

**Felipe Lara Pfeifer Macedo
Rosivaldo Costa Santana**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro de Redes de Comunicação

Banca Examinadora

Prof. Edgard Costa Oliveira, UnB/ FT (Orientador)

Prof. Sanderson Cesar Macedo Barbalho, UnB/ EPR

Prof. Luís Fernando Ramos Molinaro, UnB/ ENE

Dedicatória(s)

Dedico este trabalho principalmente à minha família, por todo o apoio prestado durante toda minha trajetória, permitindo que fosse possível a superação de diversos desafios.

Felipe Lara Pfeifer Macedo

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais e meus irmãos que me proporcionaram estar aqui e também a minha esposa por sempre me apoiar

Rosivaldo Costa Santana

Agradecimentos

Gostaria de agradecer nosso professor orientador, Dr. Edgard, pela dedicação na função de orientador, além do meu colega, e co-autor, que me permitiu dividir ótimas experiências ao longo do curso.

Felipe Lara Pfeifer Macedo

Agradeço ao Prof Edgard pela paciência e conhecimentos compartilhados, gostaria de agradecer também ao meu colega e amigo Felipe Lara por compartilhar este trabalho final de graduação.

Rosivaldo Costa Santana

RESUMO

Com o avanço das redes de comunicação, os dados coletados por estes sistemas têm cada vez mais valor e importância para o dia a dia das pessoas. As redes WBAN tratam-se de redes com enfoque médico e permite que fisioterapeutas e médicos colem dados para tratamento de diferentes doenças e transtornos físicos de maneira rápida, segura e eficiente. Atualmente, um dos instrumentos mais utilizados por fisioterapeutas trata-se da técnica de goniometria, que consiste em medir movimentos articulares de pacientes para que possa ser dado um diagnóstico funcional sobre o movimento do paciente. Para que esta técnica seja empregada, atualmente o fisioterapeuta necessita de utilizar um goniômetro, que é uma espécie de régua e fazer toda a medição manualmente. O objetivo deste trabalho consiste em projetar e implementar uma rede WBAN para auxílio da goniometria. Com o intuito de atingir o objetivo geral do projeto, dividimos o trabalho em três partes: projetar a rede de acordo com a necessidade dos fisioterapeutas, implementar o projeto com os dispositivos adquiridos e coletar e evidenciar os dados para o profissional da área da saúde. A metodologia empregada na pesquisa se deu através de levantamento dos parâmetros necessários para utilização da técnica de goniometria e pesquisa bibliográfica, análise e aquisição de componentes necessários para implementação do projeto, implementação de rede e coleta dos resultados finais. Ao fim do trabalho, vimos que com o uso da rede, a amplitude dos movimentos é demonstrada para o profissional de maneira mais rápida e intuitiva devido aos gráficos exportados, além do mais, estes dados podem ser compartilhados com rapidez com outros profissionais da saúde que por ventura necessitarão de saber sobre o movimento angular do paciente.

ABSTRACT

With the advancement of the communication networks, data collected by these systems are increasingly valuable and important for people's daily lives. WBAN networks consist of networks with a medical focus allowing physiotherapists and physicians to collect data, for treatment of different illnesses and physical disorders in a quick manner, safely and efficiently. Currently, one of the most widely used instruments by physiotherapists is the goniometry technique, which consists of measuring patients' joint movements so that a functional diagnosis of the patient's movement can be given based in numeric values. For this technique to be employed, currently the physiotherapist needs to use a goniometer, which is a ruler of kind and only do the measurements manually. The objective of this work is to design and implement a WBAN network to aid goniometry. In order to achieve the overall objective of the project, we divided the work into three parts: designing the network according to the needs of physiotherapists, implementing the project with the acquired devices and collecting and evidencing data for the healthcare professional. The methodology used in the research was through the survey of the necessary parameters for the use of the goniometry technique and bibliographic research, analysis and acquisition of components necessary for project implementation, network implementation and collection of final results. At the end of the work, we saw that with the use of the network, the range of motion's acquired values demonstrated data to the practitioner faster and more intuitively, than the manual tool, due to the exported graphics, and yet has the advantage that this data can be shared quickly with other health professionals who may need to know more about the angular movement of the patient.

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA	1
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	3
1.3.1 OBJETIVO GERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 METODOLOGIA.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 REDES SEM FIO	6
2.1.1 CONCEITO.....	6
2.1.2 ATRIBUTOS E CLASSIFICAÇÕES	6
2.1.3 PADRÕES.....	7
2.2 REDES DE ÁREA CORPORAL SEM FIO (WBAN).....	9
2.2.1 CONCEITO.....	9
2.2.2 CENÁRIOS	9
2.2.3 ARQUITETURA	10
2.2.4 DESAFIOS EM REDES WBAN	11
2.2.5 FORMATO DO QUADRO	13
2.2.6 ESTUDO DE CASO – HIPGUARD	13
2.3 GONIOMETRIA.....	14
2.3.1 CONCEITO.....	14
2.3.2 OBJETIVOS.....	15
3 ANÁLISE E AQUISIÇÃO DOS COMPONENTES	17
3.1 REQUISITOS DO PROJETO	17
3.2 COMPONENTES ESCOLHIDOS	17
3.2.1 EQUIPAMENTOS PARA PRIMEIRO E SEGUNDO NÍVEL DE SOLUÇÃO	18
3.2.2 EQUIPAMENTOS PARA O TERCEIRO NÍVEL DE SOLUÇÃO	20
4 IMPLEMENTAÇÃO DA REDE	21
4.1 TOPOLOGIA DE REDE	21
4.1.1 ARQUITETURA	21
4.1.2 APLICAÇÃO	21
4.2 TECNOLOGIAS WIRELESS EMPREGADAS	22
4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PRÁTICOS UTILIZADOS.....	23
4.3.1 PREPARANDO O AMBIENTE.....	23
4.3.2 DESCRIÇÃO DA MONTAGEM.....	25
4.3.3 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA SOLUÇÃO	25
5 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS	29
5.1 RESULTADOS ESPERADOS DA IMPLEMENTAÇÃO	29
5.2 PREPARAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO.....	29
5.3 RESULTADOS OBTIDOS	30
6 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE FIGURAS

2.1	Diferentes tipos de redes sem fio quanto a distância	1
2.2	Serviço de rede sem fio BSS	2
2.3	Serviço de rede sem fio ESS	3
2.4	Arquitetura básica de uma WBAN	4
2.5	Exemplo de rede WBAN	5
2.6	Quadro WBAN	6
2.7	Solução WBAN HipGuard	7
2.8	Goniômetro de acrílico de 20cm.....	8
3.1	Estrutura básica e funcionamento de acelerômetro	9
3.2	Estrutura básica e funcionamento de giroscópio.....	10
3.2	Placa MPU-6050	11
3.2	Microprocessador Raspberry Pi0	12
4.1	Níveis de solução WBAN	13
4.2	Topologia criada mostrando a disposição dos sensores no paciente	14
4.3	Endereços e registradores do MPU-6050	15
4.4	Sensor MPU-6050	16
5.1	Gráfico de inclinação de movimento do braço, em graus.....	17
5.2	Gráfico do movimento, em graus por segundo.....	18
5.3	Gráfico da aceleração após o movimento, em graus ao quadrado por segundo	19
5.4	Gráfico da temperatura, em graus celsius	20

LISTA DE TABELAS

2.1	Resumo dos padrões 802.11	1
2.2	Medidas dos ângulos dos membros superiores.....	2
4.1	Tabela de ligações entre sensores e Raspberry Pi Zero	3

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta considerações gerais preliminares relacionadas ao estudo de redes WBAN, definimos os problemas relacionados a técnica de goniometria e a justificativa de execução do trabalho

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Fisioterapeutas, Ortopedistas e profissionais da saúde de diversas especialidades que trabalham com a movimentação do corpo humano em geral, sempre se deparam com a necessidade de aferir metricamente angulações específicas, de forma a caracterizar algum tipo de condição do paciente. Para tais medidas, o profissional desta área utiliza a chamada Goniometria, utilizando-se de um aparelho chamado de Goniômetro. Tal aparelho mede o grau de inclinação entre dois pontos específicos de interesse do profissional, obtendo-se uma medida em graus entre estes pontos, e daí comparando tal dado com uma série de medidas explicitamente definidas pela Goniometria, é possível quantificar a chamada amplitude de movimento (ADM) de uma articulação em específico.

Para se obter informações acerca da ADM e obter conclusões a partir desta, é necessário registrar o valor inicial e final. Por exemplo, sabendo que o valor da ADM do cotovelo é de 0-145 graus, é necessário registrar o início e o final do movimento, supondo que a flexão vai de 20-145 graus significa que há uma limitação de 20 graus na extensão e que o cotovelo se mantém em posição flexora de 20 graus. Se a ADM é de 0-115 graus para flexão significa que há uma limitação de 30 graus para o cotovelo alcançar a flexão completa. Com tais dados em mãos, o profissional é capaz de tomar conclusões e a partir destas tomar providências.

As soluções WBAN em contexto atual vêm evoluindo bastante, alguns produtos estão sendo desenvolvidos em universidades e empresas para atender uma nova demanda de mercado. Como trata-se de uma nova tecnologia e voltada para uma demanda crítica os projetos são bem recentes. Alguns exemplos de produtos WBAN no mercado são o sistema e-health e o HipGuard.

1.2 JUSTIFICATIVA

As medidas provenientes do Goniômetro, dependem de uma série de fatores externos, como posição do paciente, técnica do profissional e outras variáveis, que impactam ativamente na qualidade dos resultados obtidos, e por mais que existam uma série de manuais explicativos acerca das técnicas de medição, estes erros estão sempre presentes. Pela natureza analógica, tal aparelho é extremamente limitado, só obtendo medidas em uma dimensão por vez, além de exigir que o paciente se mantenha em uma posição pré-determinada. Além disso, qualquer movimentação do paciente em quaisquer dos outros eixos de movimento que não estão sendo aferidos pelo

goniômetro, podem afetar a acurácia da medição, comprometendo todo o processo. Ainda, utilizando o goniômetro, não é possível monitorar o movimento durante toda sua extensão, o que seria algo extremamente útil. [1]

A abordagem baseada em biossensores para assistência médica, torna a medicina e a fisioterapia mais eficiente e diminui o tempo de resposta e tratamento para o paciente, além de evitar e prevenir problemas maiores causados por uma má postura que pode ser aferida e comprovada por exames que utilizam a técnica da goniometria. Com uma boa rede de sensores sem fio e uma boa interpretação, o médico poderá obter resultados mais precisos, atribuir um melhor tratamento, ou uma melhor maneira de evitar futuros problemas ao paciente.

Utilizando tal abordagem, é possível desenvolver um produto que possa ser “vestido” pelo usuário de forma confortável e pouco perceptível, de forma que possa colher dados. Ainda, a partir deste produto, é possível gerar um fluxo constante de dados acerca dos pontos em que os sensores são colocados.

De acordo com um profissional da fisioterapia, foi possível levantar uma série de requerimentos e situações de uso em que o goniômetro não atende perfeitamente às demandas do profissional, faltando algumas funcionalidades e facilidades para o uso. Atualmente, o goniômetro além de só realizar medições em uma dimensão, não é capaz de gerar um fluxo de medidas ao longo da realização do movimento, o que limita a caracterização. O equipamento atual carece de algumas informações úteis acerca do movimento, como a aceleração do movimento em cada eixo, e daí a força do movimento, além da inclinação deste. Durante uma flexão de bíceps em que é necessário obter um ângulo inicial e final por exemplo, o procedimento atual só é capaz de gerar a inclinação entre o braço e antebraço, no plano sagital, e só é possível obter a medida do ângulo nestes momentos. Neste exemplo, o profissional explicou que seria bastante útil obter as medidas instantâneas do movimento em cada um dos planos (eixos), além dos dados de aceleração de cada um destes eixos.

Atualmente, para se ter dados detalhados de um movimento como na situação anteriormente descrita, é necessário utilizar técnicas de *biofeedback*, que necessitam de um ambiente controlado, roupas especiais, câmeras de alta tecnologia e grande poder computacional para que o movimento seja descrito em pontos computadorizados. Existindo um dispositivo que seja capaz de transcrever o movimento biológico, através de pontos específicos, de forma simples e portátil, é possível obter tais resultados em qualquer cenário de utilização.

As WBAN's são redes de comunicação sem fio projetadas para fins médicos, estas redes possuem uma extensão geográfica curta e consiste em uma comunicação entre dispositivos alocados em um usuário e gadgets externos. É uma rede que pretende facilitar os casos de uso relacionados ao campo médico e é projetada para lidar com uma melhor penetração através do tecido humano sem criar danos aos tecidos humanos com a banda MICS (Medical Implant Communication Service). Uma WBAN pode ser utilizada para o auxílio da goniometria.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é realizar pesquisa e implementação de uma rede WBAN que consistirá numa rede de sensores sem fio com o propósito de capturar e obter medidas dos ângulos articulares de pacientes submetidos aos mais diversos tratamentos médicos ortopédicos e fisioterapêuticos. O trabalho focalizará no movimento de amplitude dos braços de um paciente. A partir das informações extraídas dessa rede, o profissional de saúde será capaz de aferir de maneira remota, mais precisa e rápida as condições do paciente, como estabelecimento de limites, prevenção de disfunções motoras e cognitivas do usuário da rede.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Projetar uma rede de sensores sem fio que coletará dados de pontos de interesse para o profissional da área médica e/ou fisioterapêutica.
- b) Implementar a rede WBAN utilizando os componentes adquiridos após análise da fase de projeto
- c) Coletar e disponibilizar dados obtidos de um usuário da rede WBAN que medirá a amplitude dos braços para que possam ser interpretados e analisados pelo profissional.

1.4 METODOLOGIA

Visando cumprir os objetivos mencionados anteriormente para execução do trabalho, o desenvolvimento da pesquisa se deu em quatro partes: levantamento de pesquisa bibliográfica e caracterização dos parâmetros fisioterápicos, análise e compra dos componentes para implementação WBAN tendo em vista executarmos o primeiro objetivo específico, implementação de rede conforme o segundo objetivo específico e análise dos resultados obtidos para cumprirmos o requisito do último objetivo específico.

- a) Levantamento de referências Bibliográficas:

Nesta etapa do projeto, inicialmente consultamos o Sr Alexandre Tavares de Farias Filho CREFITO/11ª Região: 17999F para que ele nos reportasse sobre informações fisioterápicas importantes na aplicação da goniometria, era necessário levantarmos informações sobre no que a técnica de goniometria consiste, quais as suas desvantagens e como poderíamos melhorá-la utilizando uma rede de sensores sem fio. Com base nas informações recebidas pelo profissional da área da saúde, consultamos materiais diversos como livros

acadêmicos, monografias e fóruns profissionais e acadêmicos para escrevermos acerca dos conceitos de rede atrelados a rede WBAN. Ao pesquisarmos o material vimos projetos que utilizavam os conceitos de angulação de movimento e eram responsáveis por verificação de angulação de membros de paciente. Por fim, esboçamos quais equipamentos seriam necessários adquirir para que o projeto fosse viável e eficaz.

b) Análise e aquisição dos componentes:

O trabalho foi projetado e dividido em três níveis de solução, o primeiro nível é o que acopla os sensores e que estará em contato direto com o paciente e reportará sobre suas informações, o segundo nível de solução trata-se do dispositivo que terá o poder de processamento e computacional da rede e o qual fará a comunicação dos dados, para garantir os requisitos de primeiro e segundo níveis nós pesquisamos na internet junto a fornecedores, sensores que fossem capazes de registrar angulações e que fossem acessíveis no mercado, depois disso procuramos por um microprocessador que tivesse poder computacional capaz de processar os dados recebidos pelos sensores, armazenar estes dados e também criar e exportar gráficos para um gadget através de tecnologia sem fio. Realizada a pesquisa de mercado, adquirimos os sensores MPU 6050 e um Raspberry Pi0 que atendiam a todos os requisitos, de posse dos novos dispositivos, testamos suas funcionalidades separadamente para confirmarmos que de fato estariam prontos para uso. O terceiro nível da solução que é a interface do usuário final nos decidimos utilizar um Tablet para o projeto.

c) Implementação de rede:

Antes de realizarmos a implementação de rede propriamente dita, fizemos um projeto de sistema baseado em soluções WBAN já vistas, por exemplo o HipGuard. Com o desenho de rede criado, fizemos as conexões dos dispositivos, como por exemplo a pinagem entre os objetos, no caso, entre os sensores e a Unidade Central de Processamento. Realizamos a programação do Raspberry Pi0 para que ele fosse capaz de receber os dados coletados pelos sensores e também pudesse traçar gráficos, para isto utilizamos a ferramenta gnuplot que é capaz de receber dados brutos em formato de tabela e transformá-los em gráficos. Fizemos a conexão via Bluetooth através de antena com um dispositivo móvel para simular o gadget do fisioterapeuta e testamos conectividade.

d) Análise dos resultados obtidos:

Com a rede já pronta, fizemos o experimento da rede. Procuramos um voluntário para que ele pudesse realizar movimentos com seu braço e a partir desses movimentos traçamos gráficos da variação de angulação de movimento. Os gráficos foram recebidos em formato PDF no Tablet utilizado no experimento, exportamos gráficos de temperatura, aceleração, movimento angular e amplitude. Com o levantamento dos gráficos pudemos analisar o comportamento do movimento e passar informações a um fisioterapeuta para melhor análise.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para uma melhor compreensão do estudo aqui desenvolvido é necessário conhecer conceitos essenciais para redes WBAN e também para telemedicina, tais como goniometria, redes de comunicação e sensores.

2.1 REDES SEM FIO

2.1.1 CONCEITO

As redes de comunicação podem ser classificadas quanto a extensão geográfica, assim como por topologias, meios físicos, tecnologias de suporte ou ao segmento a que se destinam. Para entendermos o conceito de rede WBAN é necessário conhecermos os conceitos de redes sem fio, vamos classificar e explicar as redes segundo a extensão geográfica para redes wireless. Uma rede sem fio é uma infraestrutura de telecomunicações que não utiliza meios guiados, sejam eles fibras, coaxiais ou telefônicos para realizar a comunicação. A transmissão ocorre por difusão de sinais no meio, para que esta rede exista, geralmente os equipamentos pertencentes a ela funcionam a base de radiofrequência ou via infravermelho.

2.1.2 ATRIBUTOS E CLASSIFICAÇÕES

Redes sem fio são classificadas de acordo com o alcance. O alcance é a distância máxima em que os dispositivos podem situar.

- a) WBAN: As redes WBAN(Wireless Body Area Networks) são formadas por sensores comunicantes que se encontram sobre ou no interior no corpo de um paciente. A partir desses sistemas o monitoramento de pacientes é mais barato e possui maior eficácia em função da sua continuidade.
- b) WPAN: As redes WPAN(Wireless Personal Area Networks) são redes pessoais que são utilizadas em arquiteturas com distância limitada. São aplicadas geralmente em redes Bluetooth, Wimax, etc.
- c) WLAN: As redes WLAN(Wireless Local Area Networks) são as redes locais, é o tipo de rede mais comum e interligam dispositivos numa área geográfica limitada como, por exemplo, uma sala, casa, empresa, etc.
- d) WMAN: As redes WMAN(Wireless Metropolitan Area Network) são as redes metropolitanas, são redes com um alcance maiores que as redes LAN e geralmente são projetadas para interligar campus de universidades , ou filiais de empresas numa área geográfica de extensão de uma cidade.

- e) WWAN: As redes WWAN(Wireless Wide Area Network) são redes de longa distância, cobrem a área de um país ou de vários países. As redes WWAN são embasadas em tecnologias celulares e apareceram com a evolução das redes de comunicação por voz.

A figura 1 abaixo ilustra o conceito de redes de comunicação sem fio classificadas quanto a sua extensão geográfica.

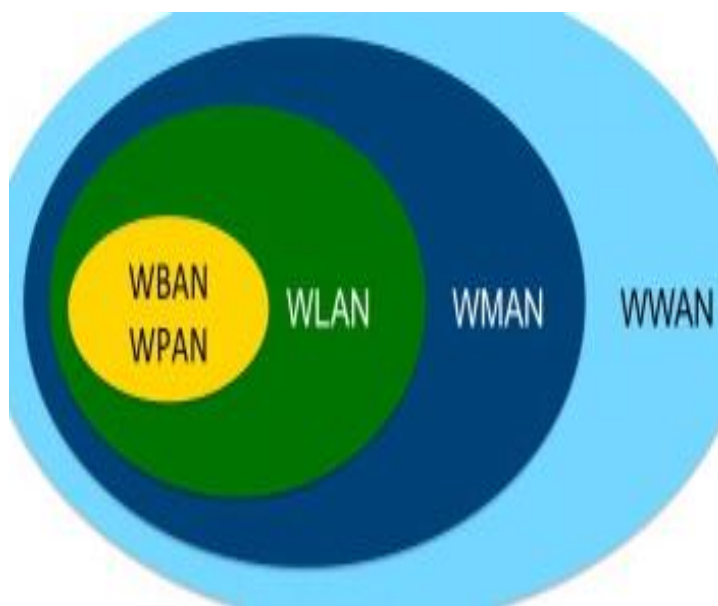


Figura 1. Diferentes tipos de redes de comunicação sem fio quanto a distância [20]

2.1.3 PADRÕES

Em redes sem fio existem diversos padrões criados e chancelados pelo IEEE que definem como os sinais serão trafegados, quadros enviados e recebidos e como a comunicação ocorre. Detalharemos dois padrões bem conhecidos das redes sem fio e que foram necessários para o trabalho.

- a) IEE 802.11: Sob a recomendação 802.11 o IEE definiu as especificações para a implementação do Wi-Fi, ou a WLAN. Neste padrão há dois tipos de serviço, o Basic Service Set (BSS) e o Extended Service Set (ESS). O BSS é definido como a base de uma rede LAN sem fio. Uma BSS é formada por estações wireless fixas ou móveis e, opcionalmente, por uma estação-base central conhecida como AP. Já uma ESS é formada por duas ou mais BSSs com Aps. Nesse caso, as BSSs são conectadas por meio de um sistema de distribuição que normalmente é uma LAN com fio.[2]

BSS: Basic service set
AP: Access point

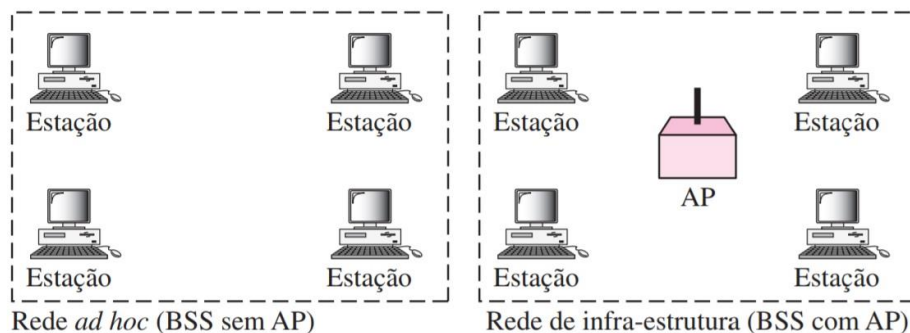


Figura 2. Serviço BSS [2]

ESS: Extended service set
BSS: Basic service set
AP: Access point

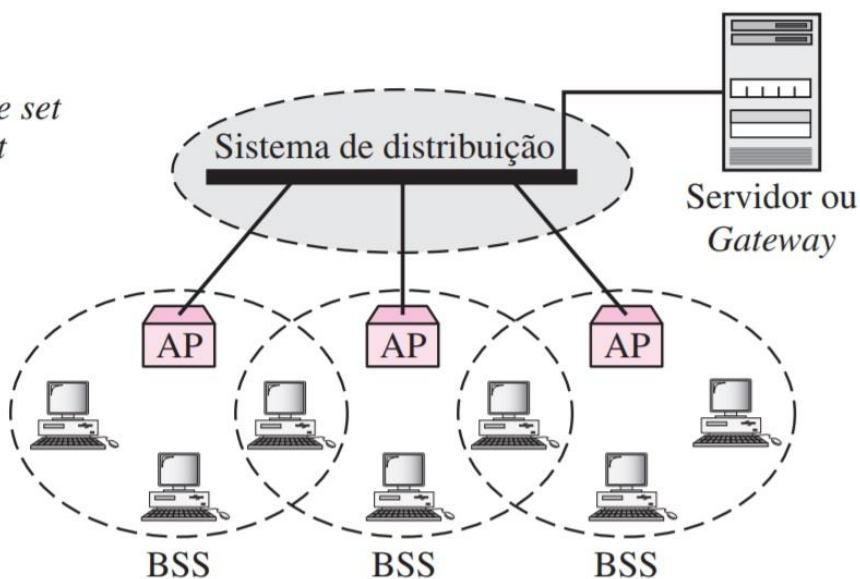


Figura 3. Serviço ESS [2]

Há diversos padrões 802.11, tais como o 802.11b, 802.11a e 802.11g, todos eles possuem várias características comuns, tais como o mesmo protocolo de acesso ao meio, o CSMA/CA, os três também compartilham a característica de mesma estrutura de quadro para seus quadros de camada de enlace, todos os padrões têm capacidade de reduzir sua taxa de transmissão para alcançar distâncias maiores e todos permitem a construção de rede em modo infraestrutura ou modo ad-hoc. [2]

Abaixo há uma tabela com as diferentes faixas de frequências utilizadas pelos três padrões 802.11 e sua capacidade de taxa de dados.

Tabela 1 – Resumo dos padrões 802.11 [2]

Padrão	Faixa de frequências (EUA)	Taxa de dados
802.11b	40.02,4–2,485 GHz	até 11 Mbits/s
802.11a	5,1–5,8 GHz	até 54 Mbits/s
802.11g	2,4–2,485 GHz	até 54 Mbits/s

b) IEE 802.15: O Bluetooth é uma tecnologia para redes LANs sem fio desenvolvida para conectar diversos tipos de dispositivos de diferentes funções, como telefones, notebooks, câmeras, impressoras e assim por diante. Uma rede Bluetooth é uma rede ad hoc, o que significa que é formada espontaneamente; os dispositivos, algumas vezes chamados de gadgets, se localizam e criam uma rede chamada piconet. Todo dispositivo Bluetooth tem um transmissor embutido na faixa de radiofrequência de curto alcance. A taxa de dados atual é de 1Mbps para a faixa de frequência de 2,4 GHz. Isso significa que existem possibilidades reais de interferência entre LANs IEEE.802.11b e as LANs Bluetooth.[2]

2.2 REDES DE ÁREA CORPORAL SEM FIO (WBAN)

2.2.1 CONCEITO

As WBAN's são definidas pelo padrão IEEE 802.15.6, trata-se de um padrão de comunicação otimizado para aparelhos de baixa potência colocado sobre, dentro, ou ao redor do corpo humano (mas não limitado apenas a humanos) utilizado para uma variedade de aplicações práticas, incluindo saúde, eletrônicos para o consumidor, entretenimento pessoal e outros.

Uma rede WBAN consiste em uma série de nós sensores de tamanho reduzido colocados externamente ou implantados no corpo humano. Cada nó é capaz de detectar, amostrar, processar e transmitir um ou mais parâmetros fisiológicos, tais como batimentos cardíacos, pressão sanguínea e saturação de oxigênio ou parâmetros do ambiente como localização, temperatura, umidade, vibração e luz.

O sucesso dos sistemas de monitoramento de saúde a partir de redes vestíveis se dá quando há uma total integração do sistema. Uma perfeita integração permite que tanto médico, paciente e os sensores se comuniquem de maneira eficiente e eficaz. É conveniente que as redes WBAN sejam interoperáveis entre diferentes dispositivos e entre fabricantes diferentes, para que se tenha um sistema eficaz e escalável.

2.2.2 CENÁRIOS

Uma rede de sensores sem fio em conjunto com técnicas de mineração de dados pode descobrir de maneira eficaz uma série de probabilidades, desde aspectos teóricos até aspectos práticos. Os cenários da saúde utilizados por redes de sensores sem fio são:

- a) Cenários de Triagem e prevenção: Em cenários de triagem, o uso conjunto de mineração de dados e redes WBANs podem ser aplicados durante a monitoração em algum período de tempo, os parâmetros coletados podem ser estudados para que haja diagnósticos de anomalia. Outra abordagem é combinar os dados coletados dos sensores com dados bioquímicos genéticos e epidemiológicos para extrair novas informações, ajudando os médicos na detecção precoce de doenças.
- b) Cenários de Tratamento: Nos cenários de tratamento o uso das redes WBANs avalia a resposta do paciente a várias terapias com medicamentos diferentes, dietas e regimes. Os dados coletados a partir dos sensores podem informar aos médicos parâmetros de maior qualidade para um tratamento mais eficaz, utilizando essas técnicas pode se comparar influências a diferentes métodos e propor melhor tratamento

2.2.3 ARQUITETURA

A arquitetura de um sistema de redes de sensores sem fio basicamente possui os seguintes componentes, abaixo a figura 2 ilustra a arquitetura básica de uma rede WBAN:

- a) Sensores: Os sensores têm a função de coletar os dados dos pacientes. Como medir o nível de pressão sanguínea, monitoração dos níveis de glicose, nível de oxigenação no sangue e temperatura. Há ainda sensores mais complexos como os sensores de eletrocardiograma e eletroencefalograma. A forma como o sensor trabalha é definido de maneira que o sensor fica inativo a maior parte do tempo, e somente durante curtos períodos ele obtém dados do paciente e encaminha a estação base, isso se dá para poupar energia.
- b) Estação Pessoal: É um dispositivo localizado próximo ao paciente que está conectado a todos os sensores e recebe os dados dos sensores. O objetivo da Estação Pessoal é interligar os dados recebidos dos sensores a um servidor de dados
- c) Servidor Central de Dados: É um servidor de banco de dados que armazena os dados coletados pelos sensores, são os dados armazenados aqui que serão utilizados para a mineração de dados, o banco de dados armazena informações de diferentes sensores.

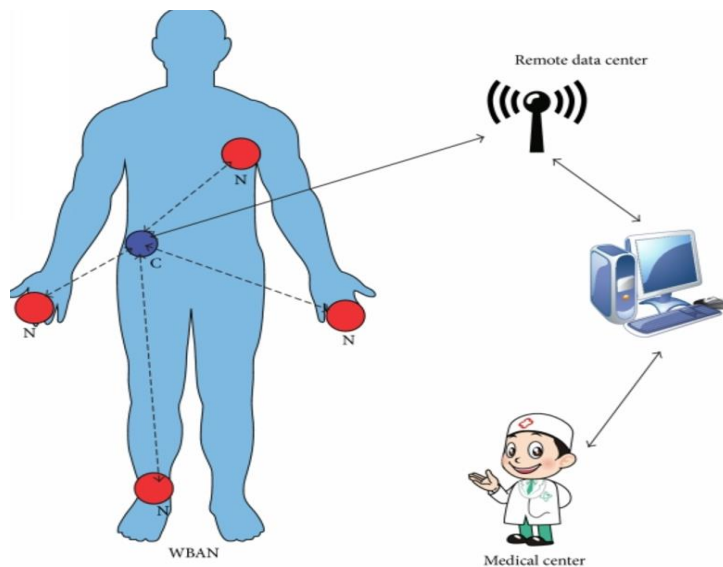


Figura 4. Arquitetura básica de uma WBAN [21]

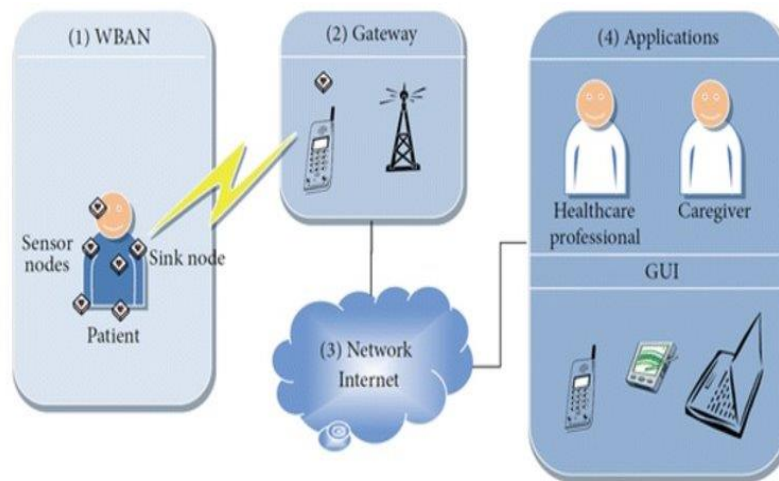


Figura 5. Exemplo de arquitetura WBAN [22]

2.2.4 DESAFIOS EM REDES WBAN

Vários desafios estão envolvidos do sistema WBAN, uma vez que o monitoramento é realizado de maneira periódica, onde o paciente está submetido a testes durante certo tempo. Aplicações de saúde baseadas em redes de sensores sem fio permitem que haja uma maior e melhor assistência domiciliar, além de propiciar casas inteligentes, ensaios clínicos e avanços na pesquisa. Antes de descrevermos onde as redes WBAN's podem ser aplicadas é necessário citar e expor seus desafios, uma vez que se trata de uma rede sensível e que frequentemente está em contato com o corpo humano:

- a) **Desafio energético:** Como a maioria dos dispositivos baseados em redes sem fio funciona com bateria, o desafio de energia está presente em quase todas áreas de aplicação de redes de sensores sem fio, mas a limitação de um sensor inteligente implantado em uma pessoa ainda representa um desafio ainda maior. Em um modo totalmente ativo, um nó não pode operar por mais de um mês porque uma bateria alcalina típica fornece cerca de 50 watts-hora de energia. Para lidar com esses problemas de energia, os desenvolvedores precisam

projetar melhores algoritmos de planejamento e esquemas de gerenciamento de energia

- b) Computacional: O desafio computacional existe porque há as limitações de potência e memória nessas redes, os sensores não podem realizar grandes cálculos de bits devido à falta de memória suficiente. Como a comunicação é vital e a memória disponível é baixa, pouca energia permanece para computação. Uma solução é que alguns sensores podem ter recursos variados que se comunicam entre si e enviam uma mensagem de dados colaborativa
- c) Segurança e Interferência: Uma das questões muito importantes que podem ser consideradas, especialmente para os sistemas médicos, é a segurança e a interferência. Dados fisiológicos coletados pela rede de sensores são as informações de saúde, que são de natureza pessoal. É essencial e no interesse do indivíduo, impedir que essa informação seja acessada por entidades não autorizadas. Isso é chamado de Confidencialidade, que pode ser obtido criptografando os dados por uma chave durante a transmissão. A autenticidade de dados também é um dos requisitos de segurança. Esta propriedade é muito importante para a rede do biossensor porque a ausência desta propriedade pode levar a situações em que uma entidade ilegal se disfarça como legal e relata dados falsos para controlar o nó ou fornece instruções erradas para outros biossensores, possivelmente causando danos significativos ao hospedeiro.
- d) Restrição de Materiais: Outro problema para a aplicação de redes de sensores sem fio à saúde é a restrição de materiais. Um biossensor deve ser implantado dentro do corpo humano, portanto, a forma, tamanho e materiais podem ser inofensivos para o tecido do corpo. Por exemplo, um sensor inteligente projetado para suportar a prótese de retina pode ser pequeno o suficiente para caber dentro de um olho. Também as reações químicas com o tecido do corpo e o descarte do sensor são de extrema importância.
- e) Robustez: Sempre que os dispositivos sensores são implantados em ambientes hostis, as taxas de robustez da falha do dispositivo tornam-se altas. Os projetos de protocolo devem, portanto, ter mecanismos integrados, para que a falha de um nó não faça com que toda a rede interrompa a operação. Uma solução possível é uma rede distribuída em que cada nó do sensor opera de forma autônoma, embora ainda coopere quando necessário. Por exemplo, se a parte do sensor não estiver funcionando, a parte de comunicação deve ser usada se beneficiar a rede e a comunicação estiver operando conforme o esperado. Uma maneira de conseguir isso seria que um nó poderia ser composto por um bloco de detecção, um bloco de comunicação, um bloco de agendamento e um bloco de dados. Esta seria uma boa maneira de isolar o bloco defeituoso do resto dos componentes no nó, bem como reduzir o consumo de energia entre os vários componentes. Para garantir que os dados corretos sejam enviados e recebidos, há poucas alternativas que podem ser usadas, como somas de verificação, verificação de paridade e verificação de redundância cíclica.

- f) **Operação contínua:** A operação contínua deve ser garantida ao longo do ciclo de vida de um biossensor, pois espera-se que opere por dias, às vezes semanas, sem intervenção do operador. Por isso, é importante manter a quantidade de comunicações ao mínimo. É necessário que as comunicações que ocorrem para outros fins que não a comunicação de dados real seja minimizada se não for possível eliminá-las.
- g) **Requisitos regulatórios:** Requisitos regulamentares devem sempre ser cumpridos, deve haver algum testemunho de que esses dispositivos não irão prejudicar o corpo humano. A transmissão de dados sem fio não deve prejudicar os tecidos adjacentes e o funcionamento crônico e a utilização de energia desses dispositivos também devem ser não malignos. O design para segurança deve ser uma característica fundamental do desenvolvimento de sensores biomédicos, mesmo nos estágios iniciais. É concebível que alguns pesquisadores imorais possam realizar testes e testes com dispositivos que são perigosos para os voluntários. Portanto, é imperativo ter uma supervisão diligente dessas operações de teste

2.2.5 FORMATO DO QUADRO

O comprimento máximo do corpo do quadro é de 255 octetos. O cabeçalho MAC ainda é composto por um controle de quadros de 32 bits, ID de identificação de destinatário de 8bits, ID de remetente de 8 bits e campos de ID WBAN de 2 bits. O WBAN ID contém informações sobre o WBAN em que a transmissão está ativa.

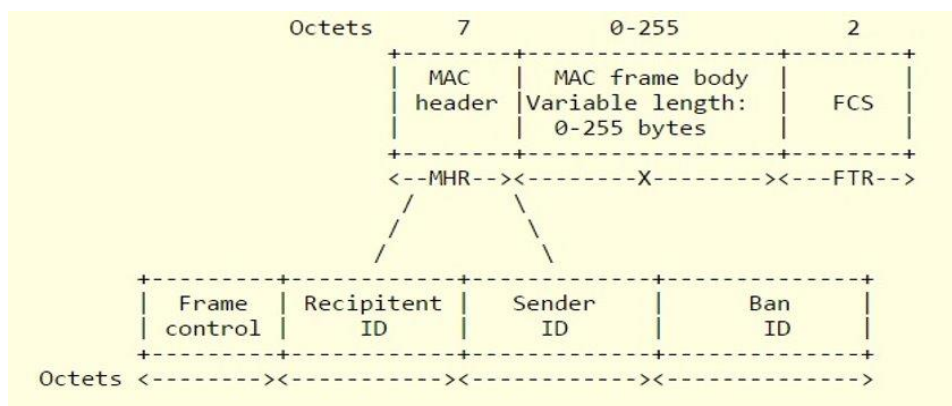


Figura 6. Quadro WBAN [23]

2.2.6 ESTUDO DE CASO – HIPGUARD

Há algumas soluções para WBAN's existentes no mercado que auxiliam no tratamento de enfermidades. Um produto que serviu como inspiração para o projeto foi o HipGuard, que foi desenhado através de um projeto da Universidade de Tampere. Este sistema tem como objetivo monitorar pacientes que realizaram cirurgias na cintura nos últimos meses. O aparelho é composto por três sensores acelerômetros e três sensores magnéticos que conseguem monitorar as pernas e a cintura do paciente.

A solução possui uma unidade central de dados que calcula através dos sensores a posição e a rotação da cintura e das pernas, alarmes são gerados quando o paciente

realiza movimentos bruscos ou não recomendados pelo médico, essa unidade central é conectada a um celular por meio bluetooth e por sua vez o celular transfere as informações de registros, alarmes e outras informações via internet para uma central médica. O sistema é capaz de prover informações de tempo real para o processo de reabilitação do paciente.[10][11]

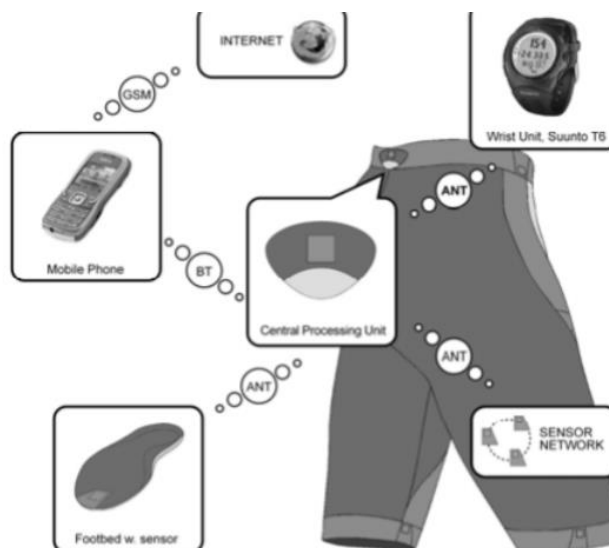


Figura 7. Solução WBAN HipGuard [10]

2.3 GONIOMETRIA

2.3.1 CONCEITO

A goniometria é uma técnica de avaliação utilizada na fisioterapia como diagnóstico funcional para mensurar objetivamente as amplitudes de movimento articular, por meio de utilização do goniômetro. O goniômetro é um instrumento que mede um ângulo ou permite que um objeto seja girado para uma posição angular precisa. A medida e o registro das amplitudes articulares devem obedecer a certos preceitos de forma a minimizar possíveis erros. A imagem abaixo ilustra um goniômetro.[1]

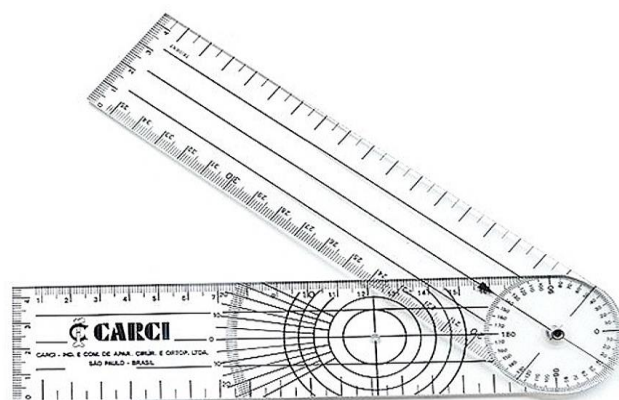


Figura 8. Goniometro de acrilico de 20 centímetros [24]

2.3.2 OBJETIVOS

Os valores obtidos com goniometria podem determinar a presença ou não de disfunções, quantificar as limitações dos ângulos articulares e realizar comparações da avaliação inicial com as reavaliações caso ocorram.

Além disso, é interessante obter os dados de aceleração instantânea de cada um dos eixos durante o movimento, para identificar quais músculos do membro estão fazendo mais força, e daí fornecer ao profissional uma ampla gama de dados acerca do movimento. Ainda, o fisioterapeuta explicitou a situação em que é necessário estudar uma movimentação biológica específica, como o caso de um saque de um jogador de vôlei, por exemplo, em que com o método atual, não é possível utilizar o goniômetro. Neste exemplo, a força do saque gerada é diretamente relacionada com a posição e angulação da omoplata e de articulações no braço durante todo o movimento de saque e portanto, seria de extrema utilidade descrever todo este movimento em dados de aceleração e inclinação entre estas articulações do braço, dando a possibilidade ao profissional de estudar o movimento em suas minúcias, em qualquer lugar. A tabela abaixo mostra os ângulos articulares dos membros superiores.[17]

Tabela 2. Medidas dos ângulos dos membros superiores

Articulação	Movimento	Grau de movimento (Graus)
Ombro	Flexão	0-180
	Extensão	0-45
	Adução	0-40
	Abdução	0-180
	Rotação Interna	0-90
	Rotação Externa	0-90
Cotovelo	Flexão	0-145
	Extensão	145-0
Radioulnar	Pronação	0-90
	Supinação	0-90

Punho	Flexão	0-90
	Extensão	0-70
	Adução (desvio ulnar)	0-45
	Abdução (desvio radial)	0-20
Carpometacárpica do polegar	Flexão	0-15
	Abdução	0-70
	Extensão	0-70
Metacarpofalanganas	Flexão	0-90
	Extensão	0-30
	Abdução	0-20
	Adução	0-20
Interfalângicas Proximais	Flexão	0-110
	Extensão	0-10
Interfalângicas Distais	Flexão	0-90
	Flexão int. do polegar	0-80
	Extensão Int.do polegar	0-20
	Extensão Interna 2º a 5 dedo	0-10

Durante a consulta com o fisioterapeuta, buscamos caracterizar os parâmetros necessários para que as medidas sejam utilizadas da melhor maneira, vimos que as angulações dos eixos entre articulações específicas podem caracterizar, através da técnica de goniometria, uma série de condições médicas. De posse dos dados de inclinação em todos os eixos, seria possível verificar possíveis movimentações nos outros planos, o que pode comprometer a medida.

Para medir as angulações a partir de pontos específicos a critério do especialista, é necessário utilizar sensores do menor tamanho e peso possíveis, para não afetar a medida, além de gerar dados de inclinação aliados com dados de aceleração em cada um dos três eixos de movimento.

3 ANÁLISE E AQUISIÇÃO DOS COMPONENTES

Nesta seção será explicitado a decisão para a compra dos componentes necessários para a execução do projeto.

3.1 REQUISITOS DO PROJETO

Para a coleta de dados sobre a posição dos braços do paciente são necessárias sensores que possam identificar a posição de cada um dos ombros, além de um sensor central, posicionado na mesma altura dos outros dois, de forma que se possa comparar os resultados obtidos, gerando a posição relativa entre os ombros e daí concluindo o alinhamento atual da postura.

Uma vez tendo os dados coletados, é necessário utilizar um equipamento, com certo poder computacional, que possa coletá-los e os enviar de forma rápida e confiável, ao mesmo tempo que seja pequeno e leve, para minimizar o desconforto do usuário. Além disso, tal dispositivo precisa ser o mais econômico possível em termos de energia, para que suas baterias tenham o máximo tempo de operação fora da tomada. O conjunto destes sensores e o dispositivo central consiste no primeiro nível da solução.

Mesmo que o dispositivo coletor de dados tenha certa capacidade computacional, é necessário ter um dispositivo a mais, para receber os dados do dispositivo central, processá-los, e os mostrar os resultados de forma intuitiva para o usuário. Para tal aplicação, idealmente seria utilizado um *smartwatch*.

Para o servidor externo, terceiro nível da solução, bastaria qualquer tipo de servidor externo, sendo alimentado por uma aplicação do tipo cliente-servidor, de forma a alimentar uma base de dados inacessível para o paciente e acessível apenas para o médico responsável, caso seja o caso.

A arquitetura cliente-servidor é uma tecnologia em que os dados são transmitidos de uma aplicação de cliente que solicita dados e de uma aplicação servidor que é a responsável por processar e enviar os resultados dos pedidos. É no servidor que há a maior complexidade de processamento e onde estão os sistemas mais pesados, as aplicações clientes são mais simples e são criadas para solicitar e receber dados do servidor. A imagem abaixo ilustra uma típica arquitetura cliente-servidor.

3.2 COMPONENTES ESCOLHIDOS

Esse sistema utiliza sensores, colocados em acidentes ósseos específicos de acordo com o utilizador, de forma a captar uma série de informações sobre movimento.

Sensores baseados em inércia como acelerômetros e giroscópios são comumente utilizados em uma vasta variedade de eletrônicos, inclusive em telefones celulares, por exemplo. São fáceis de utilizar e tem excelente custo/benefício para detectar movimento humano. Os dados gerados por tais sensores podem ser transmitidos sem fio para processamento, visualização e análise. Esses tipos de sensores podem ser pequenos em tamanho, ter uma grande sensibilidade e uma enorme amplitude de medidas.

3.2.1 EQUIPAMENTOS PARA PRIMEIRO E SEGUNDO NÍVEL DE SOLUÇÃO

Para os equipamentos necessários para o primeiro nível da solução foram escolhidos os seguintes componentes:

- a) Acelerômetro: Uma estrutura de feixe móvel composta por dois conjuntos de dedos é o principal componente de um acelerômetro, que mede a aceleração em g ($1g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Um conjunto de dedos é fixo em um plano sólido em um substrato, enquanto o outro está ligado a uma massa previamente conhecida fixado em uma mola que pode se mover dependendo da aceleração. A capacitância entre os dedos fixos e os dedos do feixe em movimento mudam quando o sensor é acelerado. A estrutura básica de um acelerômetro pode ser visto na figura a seguir:

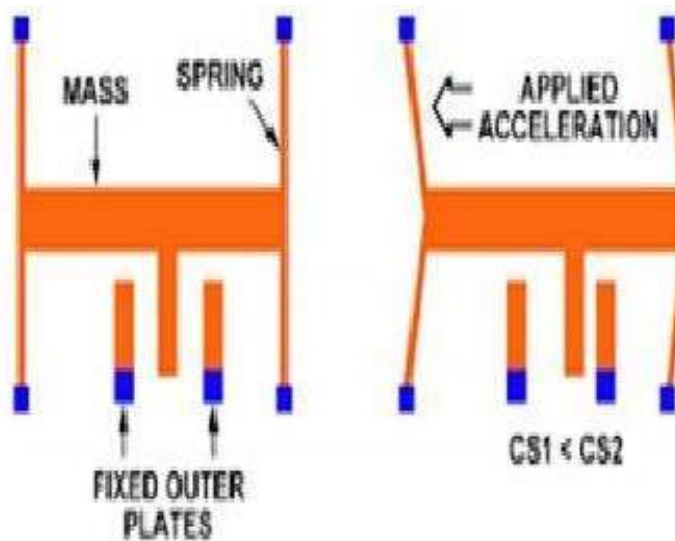


Figura 9. Estrutura básica e funcionamento de um acelerômetro.

- b) Giroscópio: Tal aparelho é capaz de medir taxa angular em rad/s ($1 \text{ rad/s} = 360^\circ/2\pi = 57,296^\circ/\text{s}$) através do Efeito *Coriolis*. Uma massa em constante oscilação deslocada para uma direção específica sofre um deslocamento quando uma taxa angular é aplicada, o que causa uma mudança na capacitância, de forma similar ao acelerômetro.

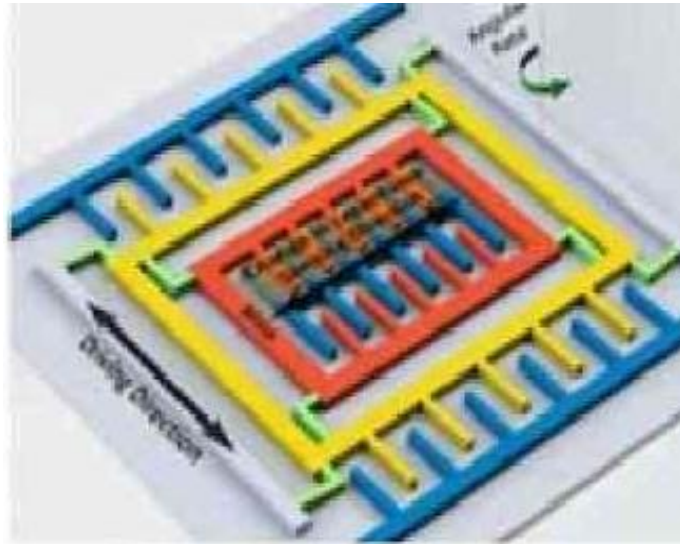


Figura 10. Estrutura básica e funcionamento de giroscópio [25]

- c) Três Módulos Acelerômetro/Giroscópio MPU-6050: Sensores que são capazes de coletar dados em três eixos, em medições de aceleração e inclinação individual de cada sensor, além de temperatura em graus Celsius

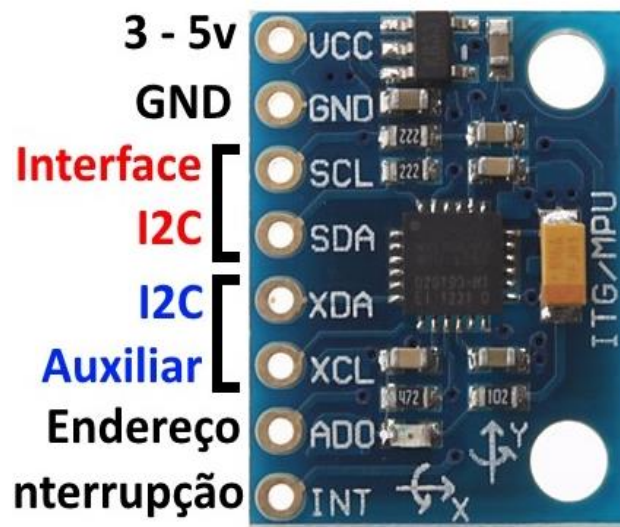


Figura 11. Placa MPU-6050 [26]

- d) Raspberry Pi Zero: Dispositivo central, com tamanho menor que um cartão de crédito, com quarenta pinos digitais IN/OUT para acoplar outros dispositivos e conexões sem fio Wi-Fi b/g/n além de Bluetooth 4.1 e Bluetooth Low Energy.



Figura 12. Raspberry Pi0 [27]

- e) Fonte de Energia para o Raspberry Pi Zero: Necessário alimentar o dispositivo, de forma que o mesmo funcione continuamente por uma quantidade razoável de tempo. Para esta aplicação, será utilizado um carregador portátil de celular.

3.2.2 EQUIPAMENTOS PARA O TERCEIRO NÍVEL DE SOLUÇÃO

Para o segundo nível de solução que se trata da interface da rede com o usuário era necessário que o profissional possuísse algum aparelho que fosse capaz de receber informações sobre as medições, como a angulação e os gráficos obtidos. No experimento decidimos usar o dispositivo abaixo:

- a) Tablet: Trata-se do dispositivo pessoal do fisioterapeuta que receberá os dados coletados a partir da rede. Em nosso projeto utilizamos o Tablet Shield K1 da Nvidia, o dispositivo possui 2GB de memória RAM, um processador Quad-Core 2.2GHZ e possui suporte ao Bluetooth 4.0.

Ao fim desta etapa tínhamos todos os dispositivos necessários para implementar a nossa rede. Não encontramos dificuldades para achar os componentes, o hardware do Raspberry Pi Zero é mais robusto do que o necessário para a construção da rede. Os acelerômetros e giroscópios utilizados na solução são sensores bem comuns e comerciais, mas o ideal seria termos um sensor específico para este tipo de solução e que fosse pareado de forma fixa entre duas partes distintas do corpo do paciente para que as curvas obtidas fossem tiradas com mais precisão.

4 IMPLEMENTAÇÃO DA REDE

Este capítulo apresenta a construção e implementação da rede WBAN para execução do projeto.

4.1 TOPOLOGIA DE REDE

4.1.1 ARQUITETURA

Para criar a solução proposta, foi pensado em uma arquitetura WBAN, de tres niveis, dois dentro da área do corpo e um externo.

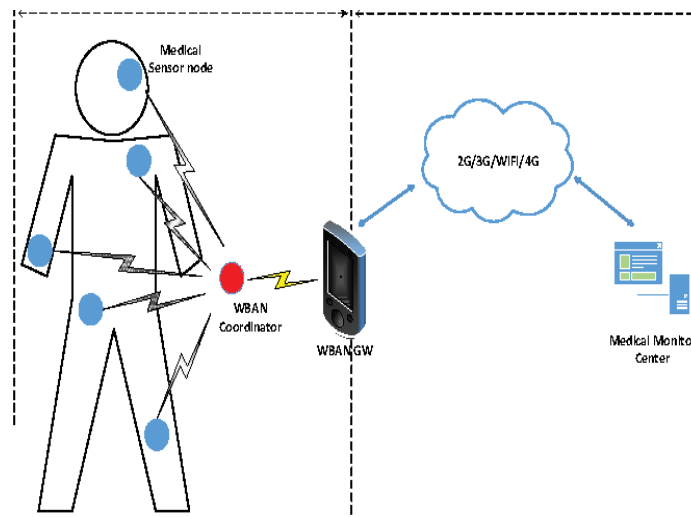


Figura 13. Níveis de solução WBAN [28]

4.1.2 APLICAÇÃO

O primeiro nível consiste em uma solução de três sensores Giroscópios/Acelerômetros de três eixos cada, colocados nas costas do paciente. Os dados gerados por tais sensores alimentarão o Raspberry Pi Zero, para que este os envie para o nível dois da arquitetura.

O segundo nível consiste em um nó central de coleta e processamento dos dados, idealmente um *smartwatch*. Para representá-lo e tornar a implementação mais simples, será utilizado um tablet, este acoplado a uma tela, para que o usuário tenha um retorno acerca dos dados gerados pela rede de sensores.

O terceiro nível, externo a área do paciente, consiste em um servidor médico, alimentado pelos dados gerados no nível um, e enviados pelo segundo nível. Esta última conexão poderá ser feita por e-mail, 3g/4g ou mesmo sms, qualquer tecnologia disponível. A figura abaixo mostra a topologia da rede implementada para o cenário de flexão do cotovelo.

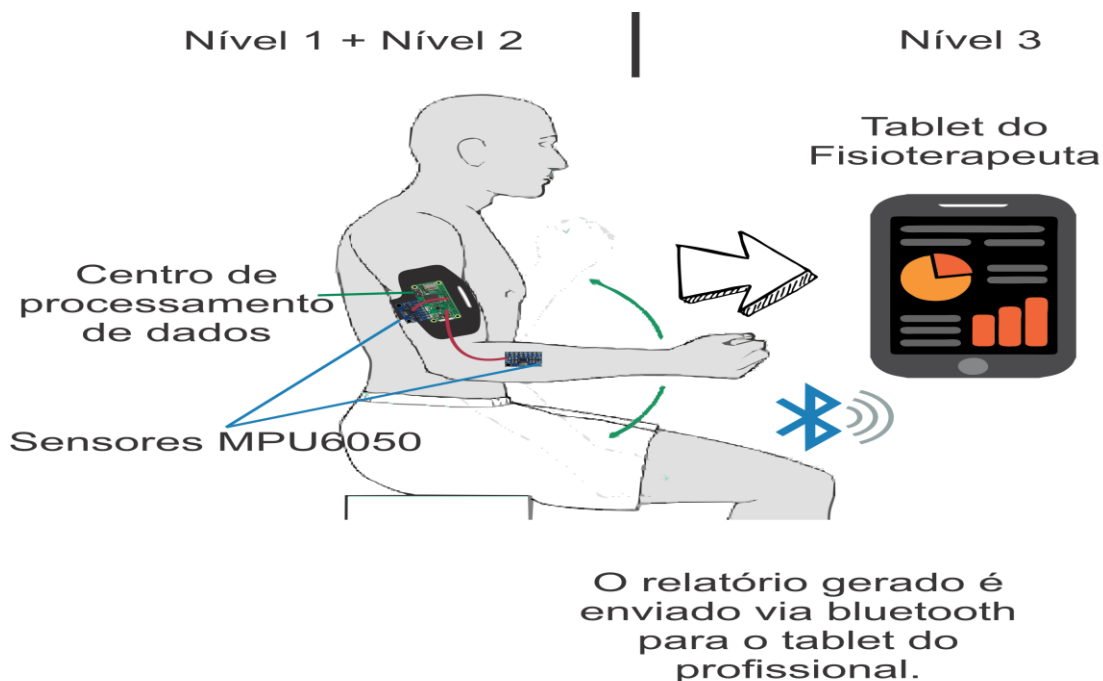


Figura 14. Topologia criada mostrando a disposição dos sensores no cotovelo do paciente

4.2 TECNOLOGIAS WIRELESS EMPREGADAS

Para comunicação entre os níveis teorizados, é importante utilizar um método de comunicação que possibilite que a transmissão seja rápida, confiável e que consuma baixíssima potência, de forma a prolongar a duração das baterias, tornando o dispositivo funcional fora de qualquer fonte de energia externa.

Para comunicação entre o nível um e dois, mostrou-se necessário o uso de um método de transmissão confiável, seguro e eficiente, com baixo consumo de energia, porém com baixo alcance, já que se trata de um ambiente WPAN. Portanto, o método escolhido foi o Bluetooth Low Energy, tecnologia disponível em ambos os equipamentos.

O Bluetooth Low Energy é uma tecnologia sem fio, também chamado de Bluetooth 4.0 que possui baixo consumo de energia. Este ponto é extremamente importante para comunicações M2M, com este consumo baixo de energia, dispositivos podem funcionar com uma bateria de 4 a 5 anos. Assim como o Bluetooth tradicional, o BLE opera na banda de 2.4GHZ e a taxa de transmissão superam 1 Mb/s.

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PRÁTICOS UTILIZADOS

Para comunicação entre os níveis teorizados, é importante utilizar um método de comunicação. Utilizando a placa Raspberry pi zero w em conjunto com os sensores MPU6050, é necessário realizar uma série de procedimentos para tornar o conjunto funcional da forma pretendida.

4.3.1 PREPARANDO O AMBIENTE

- a) Raspberry Pi: A placa foi programada no modo *Headless*, de forma que qualquer computador com acesso à internet local conseguia acessar o ambiente de programação da placa, via *ssh*.

Para acessar e configurar a placa dessa forma, basta inserir um cartão sd, com o sistema operacional Raspbian instalado, na placa e ligá-la a uma fonte de energia estável de 5v/0.5ma. A partir da primeira inicialização, o Raspberry automaticamente faz todo o processo de instalação do sistema operacional no cartão. Para este projeto, foi escolhido o Raspbian Jessie Lite, sem interface gráfica e extremamente reduzido, de forma a economizar os recursos físicos da placa. Depois da placa inicializar e com a luz verde de status estabilizada, basta conectar o cartão sd que estava na placa a um computador, acessar a partição criada *boot*.

Então, é necessário criar um arquivo *.txt* no diretório chamado *wpa_supplicant.conf* para configurar a conexão de internet da placa através da interface de wi-fi. É este arquivo que o Raspberry utiliza para gerenciar suas conexões sem fio. Isso deve ser feito da seguinte forma, com os dados da conexão sem fio local:

```
country=EUA
ctrl_interface=DIR=/var/run/wpa_supplicant GROUP=netdev
update_config=1
network={
    ssid="MyWiFiNetwork"
    psk="aVeryStrongPassword"
    key_mgmt=WPA-PSK
}
```

Além disso, é necessário habilitar conexões *ssh* externas e para isso, é necessário utilizar a placa da forma convencional. Utilizando a porta mini-HDMI embutida e um adaptador mini-HDMI/HDMI é possível conectar a placa a um monitor e utiliza-a como um computador convencional. Para a entrada de comandos, é necessário utilizar um teclado USB conectado à porta micro-USB embutida e para isso, utiliza-se outro adaptador micro-usb/USB OTG. Ao inicializar, a interface gráfica básica deve ser exibida no monitor conectado, da mesma forma que um computador convencional. Como o sistema operacional utilizado é o Raspbian Lite, só está disponível a interface por linha de comando, assim como muitas distribuições Linux. Uma vez no ambiente, basta entrar

como super usuário, e executar o seguinte comando: “*raspi-config*”. A partir daí, seleciona-se “*Interfacing Options*” e habilita-se a opção de ssh.

A partir da próxima inicialização, o Raspberry estará configurado para conectar automaticamente à rede sem fio declarada, e pronta para receber conexões do tipo *ssh*.

- b) Sensores MPU: Os sensores utilizados são comercializados em pequenas placas impressas, reunindo acelerômetro, giroscópio e termômetro acessíveis através da interface I2C embutida na placa. Tais dados são constantemente obtidos e armazenados em registradores de 8 bits, acessíveis por endereços específicos através do I2C, a figura nº7 anterior e a imagem do datasheet abaixo mostram as especificações.

Addr (Hex)	Addr (Dec.)	Register Name	Serial I/F	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
3B	59	ACCEL_XOUT_H	R	ACCEL_XOUT[15:8]							
3C	60	ACCEL_XOUT_L	R	ACCEL_XOUT[7:0]							
3D	61	ACCEL_YOUT_H	R	ACCEL_YOUT[15:8]							
3E	62	ACCEL_YOUT_L	R	ACCEL_YOUT[7:0]							
3F	63	ACCEL_ZOUT_H	R	ACCEL_ZOUT[15:8]							
40	64	ACCEL_ZOUT_L	R	ACCEL_ZOUT[7:0]							
41	65	TEMP_OUT_H	R	TEMP_OUT[15:8]							
42	66	TEMP_OUT_L	R	TEMP_OUT[7:0]							
43	67	GYRO_XOUT_H	R	GYRO_XOUT[15:8]							
44	68	GYRO_XOUT_L	R	GYRO_XOUT[7:0]							
45	69	GYRO_YOUT_H	R	GYRO_YOUT[15:8]							
46	70	GYRO_YOUT_L	R	GYRO_YOUT[7:0]							
47	71	GYRO_ZOUT_H	R	GYRO_ZOUT[15:8]							
48	72	GYRO_ZOUT_L	R	GYRO_ZOUT[7:0]							

Figura 15. Endereços e registradores do MPU6050 [19]

Para acessar estes dados, basta ler os registradores responsáveis por cada um dos dados de interesse, lembrando que tais dados têm os primeiros 8 bits mais significativos em um endereço e os bits menos significativos no endereço seguinte, o que exige o devido tratamento no código a ser elaborado. Além disso, o número binário obtido com a combinação dos dois registradores por dado resulta em uma sequência de bits codificados em complemento de dois, o que exige a devida conversão a nível de código. Além disso, a montagem pretendida exige-se que sejam utilizados dois sensores MPU6050, a fim de monitorar os graus de inclinação entre eles, e assim obter a amplitude de movimento. Para utilizar dois sensores em conjunto com o Raspberry, a seguinte arquitetura foi pensada.

Normalmente, acessa-se os endereços específicos através do endereço i2c 0x68 e ao colocar o pino do MPU6050 em nível lógico alto, o endereço i2c é deslocado para 0x69, porém não é possível acessar seus registradores por meio deste endereço. Desta forma, só é possível obter as informações através do endereço padrão, o que dificulta a multiplexação dos dados. Para resolver este problema, cada um dos pinos AD0 nas placas mpu6050 foi ligada à um pino do Raspberry capaz de ser programado. Com isso, basta que apenas uma das placas esteja ativa por vez, fazendo com que os dados sejam obtidos alternadamente.

4.3.2 DESCRIÇÃO DA MONTAGEM

Para acoplar os sensores MPU6050 ao Raspberry Pi, foram ligados cada um de seus pinos em paralelo entre si, através de cabos flat de cabos de disco rígido IDE com pinos soldados, a não ser os pinos AD0, que controlam o endereçamento para o qual os dados possam ser lidos através do barramento i2c.

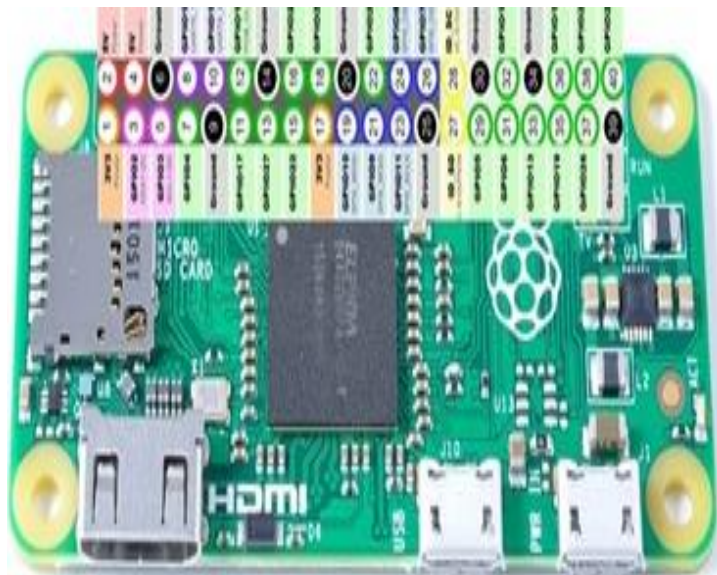


Figura 16. Sensor MPU 6050 [19]

As ligações necessárias entre os sensores e o Raspberry Pi Zero estão listadas na tabela abaixo.

Tabela 3. Tabela de ligações entre sensores e Raspberry Pi Zero

Pino	Raspberry Pi Zero	MPU 6050 1	MPU 6050 2
VCC	GPIO 1	GPIO 1	GPIO 1
GND	GPIO 6	GPIO 6	GPIO 6
SDA	GPIO 3	GPIO 3	GPIO 3
SCL	GPIO 5	GPIO 5	GPIO 5
AD0 1	GPIO 16	----	GPIO 16
AD0 2	GPIO 18	GPIO 18	----

Desta forma, ao colocar o pino GPIO 16 em nível lógico baixo e o GPIO 18 em nível alto, seleciona-se o MPU 6050 2 e o MPU 6050 1 é desligado, e vice-versa.

4.3.3 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA SOLUÇÃO

A montagem foi pensada de tal forma a simplificar o máximo possível os procedimentos do operador para utilizar a ferramenta e obter os dados de interesse. Para começar a sessão de uso, o operador deve ligar o Raspberry atrelado aos sensores, e ligar o Bluetooth no tablet. Daí é necessário parear o tablet via Bluetooth com o

Raspberry, abrir o aplicativo de terminal Bluetooth e enviar um comando de início, o que provoca o começo do programa no Raspberry. Ao final do exercício, o gráfico gerado é enviado via Bluetooth ao tablet, junto aos arquivos contendo os dados.

- a) Comunicação Bluetooth: Como funcionalidade da solução idealizada, e visando a facilidade de uso, o Raspberry pi com os sensores atrelados deve se comunicar com o tablet, a fim de ilustrar os resultados obtidos pela ferramenta. Para o ambiente teste idealizado, foi decidido utilizar um SHIELD tablet k1, da nvidia, com Bluetooth 4.1 integrado.

Para utilizar a comunicação entre os dois componentes via Bluetooth, é necessário acessar o utilitário do Bluetooth em linha de comando do Raspberry pi, através do mesmo ambiente de configuração via shell mencionado anteriormente. Para isto é necessário utilizar o comando `Bluetoothctl` como superusuário na linha de comando do Raspberry, e daí executar uma série de comandos específicos:

```
[Bluetoothctl] power on {ativa o circuito Bluetooth integrado}  
[Bluetoothctl] agent on {ativa a pesquisa de dispositivos}  
[Bluetoothctl] scan on {retorna os endereços MAC resultados da pesquisa de  
dispositivos Bluetooth próximos}  
[Bluetoothctl] trust 00:04:4B:61:9D:03 {adicionar o endereço mac do tablet  
como confiável}  
[Bluetoothctl] exit
```

Com o Bluetooth configurado dessa forma, sempre que o Raspberry for iniciado, junto a conexão automática de Wi-fi, o Raspberry tentará se conectar ao tablet com o MAC cadastrado, além de permitir conexões provenientes deste endereço MAC

Para realizar a comunicação idealizada, foi utilizado o protocolo RFCOMM, no modo de porta serial via Bluetooth. Desta forma é possível a simples troca de caracteres, em ASCII, através de uma conexão bidirecional. Radio Frequency Communication(RFCOMM) é um simples conjunto de protocolos que provêem portas seriais emuladas, provendo um fluxo simples e confiável, bastante similar ao TCP. É também utilizado como camada de transporte para o protocolo OBEX via Bluetooth.

Resumidamente, a solução foi baseada no seguinte conjunto de comandos:

```
sudo rfcomm listen hci0& {aguarda conexões a serem adicionadas através da interface  
bluetooth padrão. O ‘&’ no final comanda que o comando seja executado como um  
processo em background}
```

Este comando aguarda o pedido da conexão de um dispositivo externo, e automaticamente a aceita, quando proveniente de um dispositivo considerado

confiável, e a estabelece, criando uma área de transferência temporária em /dev/rfcomm0

```
echo "mensagem" > /dev/rfcomm0 {envia o conjunto de caracteres “mensagem” para a área de transferência compartilhada}
```

```
cat /dev/rfcomm0 > /blue2.txt {recebe e armazena o conjunto de caracteres enviados pelo dispositivo externo no arquivo de texto declarado}
```

```
rfcomm release rfcomm0 {encerra a conexão}
```

```
obexftp --nopath --noconn --uuid none --bluetooth 00:04:4B:61:9D:03 --channel 12 -p arquivo.pdf {Envia via protocolo obex, através da porta bluetooth 12, para o dispositivo do MAC declarado o arquivo .pdf }
```

- b) Armazenamento de Dados e Construção dos Gráficos: Para armazenar cada um dos dados obtidos pelos sensores, foi elaborado um padrão de armazenamento em arquivos .txt, de forma a tornar possível a criação de gráficos posteriormente, assim como a análise dos dados.

O seguinte conjunto escrito em python controla o armazenamento dos dados em txt.

```
file=open("gyro2.txt","w")
file2=open("accel2.txt","w")
file3=open("temp2.txt","w")
file.write("%f\t"%ts)
file.write("%f\t"%gyro1.get("x","none"))
file.write("%f\t"%gyro1.get("y","none"))
file.write("%f\t"%gyro1.get("z","none"))
file.write("%f\t"%gyro2.get("x","none"))
file.write("%f\t"%gyro2.get("y","none"))
file.write("%f\t"%gyro2.get("z","none"))
file.write("%f\n"%y)
file2.write("%f\t"%ts)
file2.write("%f\t"%accel1.get("x","none"))
file2.write("%f\t"%accel1.get("y","none"))
file2.write("%f\t"%accel2.get("x","none"))
file2.write("%f\n"%accel2.get("y","none"))
file3.write("%f\t"%ts)
file3.write("%f\t"%temp1)
file3.write("%f\n"%temp2)
```

Resumidamente, a cada iteração do programa, os dados do giroscópio, acelerômetro e sensor de temperatura são armazenados em listas específicas, separando cada valor com o ‘t’, caractere em ASCII que representa o espaço de tabulação.

Para criar os gráficos demonstrativos dos dados, foi utilizado a ferramenta GNUPLOT, programa *open source* de processamento de dados, capaz de várias operações matemáticas envolvendo análise gráfica de dados discretos.

Para isto, basta executar o comando shell `gnuplot gnuplot.plt` , utilizando o arquivo de configuração `.plt`, com o seguinte conteúdo:

```
set terminal pdf
set output "Análise.pdf"
set title "Movimento"
set xlabel "tempo"
set ylabel "Graus"

plot "gyro2.txt" using 1:2 with lines title "x1", \
"gyro2.txt" using 1:3 with lines title "y1", \
"gyro2.txt" using 1:4 with lines title "x1", \
"gyro2.txt" using 1:6 with lines title "y2"

set title "Aceleração"
set xlabel "tempo"
set ylabel "Aceleração em g"

plot "accel2.txt" using 1:2 with lines title "x1", \
"accel2.txt" using 1:3 with lines title "y1", \
"accel2.txt" using 1:4 with lines title "x2", \
"accel2.txt" using 1:5 with lines title "y2"

set title "Temperatura"
set xlabel "tempo"
set ylabel "temperatura"

plot "temp2.txt" using 1:2 with lines title "temp1", \
"temp2.txt" using 1:3 with lines title "temp2"
```

Para automatizar comandos shell através do código em Python, foi utilizada a biblioteca `os`, que permite a execução de quaisquer comandos shell. Abaixo um exemplo do comando `os`.

```
os.system("gnuplot gnuplot.plt")
```

Ao final deste capítulo, vimos como a implementação da rede foi feita. Com o sistema pronto, identificamos que a complexidade de construção do mesmo não é tão complexa e que o hardware adquirido é mais robusto do que o necessário para a aplicação WBAN. Como tratou-se de um protótipo do produto, a solução não ficou bem otimizada para ser utilizada no corpo humano, já que ainda há a necessidade de fios para alimentação elétrica de componentes. Para contornarmos essa dificuldade o ideal é a criação e implementação de uma solução de sistema embarcado.

5 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Este capítulo apresenta os resultados experimentais obtidos após a execução de testes com o produto criado.

5.1 RESULTADOS ESPERADOS DA IMPLEMENTAÇÃO

Através do produto criado espera-se que o fisioterapeuta capture além das angulações de articulações, também tremedeiras ou irregularidades provenientes do movimento do paciente. Desta maneira, o profissional responsável poderá avaliar possíveis falhas no deslocamento articular da pessoa avaliada. Conforme visto na primeira seção deste artigo, é esperado que as angulações para o movimento do cotovelo sejam de 0 – 145 graus que são as medidas padronizadas pelo manual de goniometria.

5.2 PREPARAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO

Para demonstração do produto faz-se necessário um voluntário para atuar como paciente. Os sensores MPU6050 são fixados próximos ao cotovelo do usuário para que os dados sejam obtidos. A fixação dos sensores ocorreu por meio de uma fita isolante simples, é necessário utilizá-la para que os sensores fiquem bem presos e não haja problemas na obtenção dos dados. O Raspberry Pi Zero também foi colocado no paciente para que os fios entre os sensores e o Raspberry não apresentem interferência no resultado.

Com o voluntário devidamente “vestido” com a solução WBAN foi necessário iniciar a aplicação. Para isto conectamos o Raspberry Pi 0, um laptop e o tablet na mesma rede, acessamos o Raspberry Pi Zero via ssh através do laptop e iniciamos a aplicação, por outro lado, no tablet nos conectamos ao Raspberry Pi via bluetooth. Quando toda esta comunicação foi estabelecida, escrevemos start no tablet e a aplicação foi iniciada.

Durante a execução da aplicação, que dura 10 segundos, o paciente realizou movimentos verticais, o antebraço era estendido em direção ao chão e depois foi levantado até ficar rente ao braço. Depois destes 10 segundos, o tablet recebeu via bluetooth e no formato pdf o arquivo que contém os gráficos criados a partir dos valores recebidos no teste.

5.3 RESULTADOS OBTIDOS

Após os movimentos realizados obtivemos quatro gráficos para análise. O primeiro gráfico que possui a angulação do movimento está relacionado aos movimentos obtidos e esperados pelas medições via goniometria. Vimos que o movimento varia entre 0 – 145 graus para o movimento do cotovelo no eixo Y, que trata do movimento vertical, não há grande variação no eixo X porque trata-se do movimento horizontal, se houvesse uma grande variação em X o paciente provavelmente teria algum problema em suas articulações, porque este tipo de dado não seria o esperado.

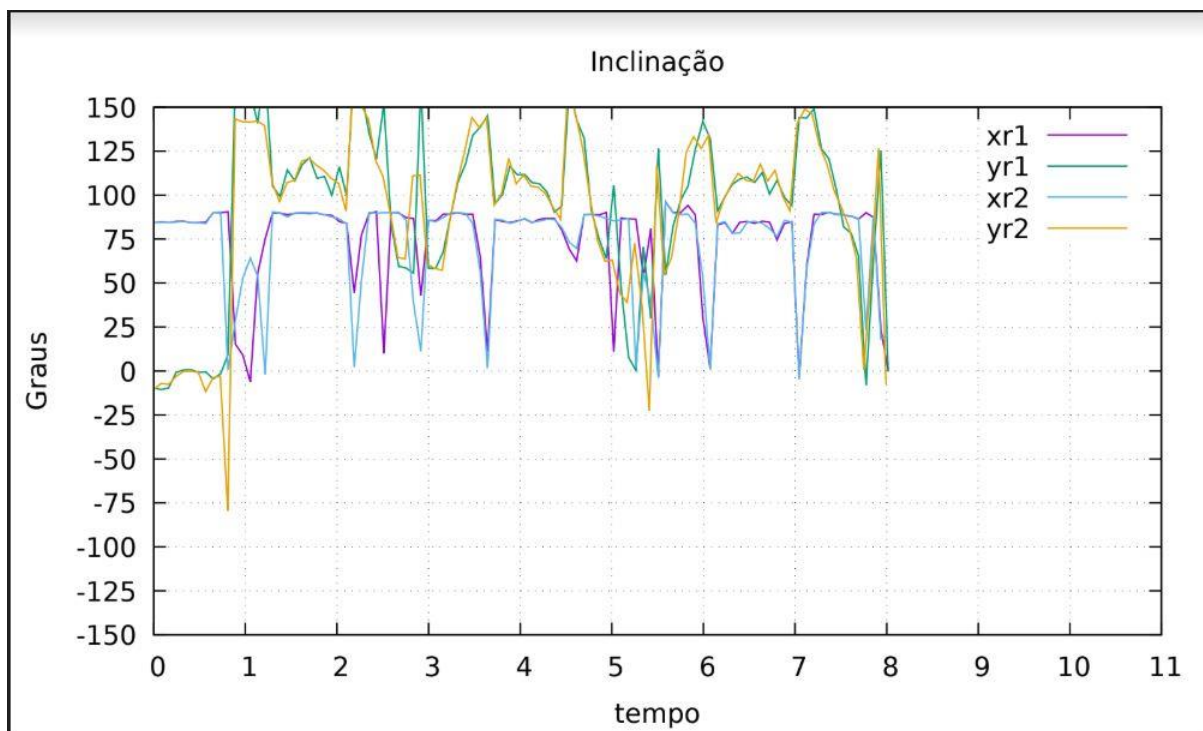


Figura 17. Gráfico de Inclinação de movimento do braço, em graus

Os gráficos de aceleração e de movimento ilustram com precisão como a flexão a extensão do cotovelo estão sendo executadas, os picos e vales deixam bem claro a máxima extensão e a máxima flexão da vítima no movimento, e no gráfico de aceleração podemos ver quando o paciente movimenta seu cotovelo de maneira mais rápida. Com estes três gráficos é possível mostrar que o movimento do paciente é realizado de maneira regular e sem anormalidades, com a ajuda de um profissional de fisioterapia o paciente pode ser instruído a realizar o movimento ou a aceleração da maneira com que o fisioterapeuta espere, assim ele conseguirá dar um melhor diagnóstico no seu teste solicitado. Com estes dados obtidos é possível analisar quando um paciente tem dificuldade de executar o movimento, a angulação de movimento não será de 0 até 145 graus e os dados no eixo X podem alterar bastante, ilustrando que a pessoa avaliada está trêmula ao executar as flexões ou extensões.

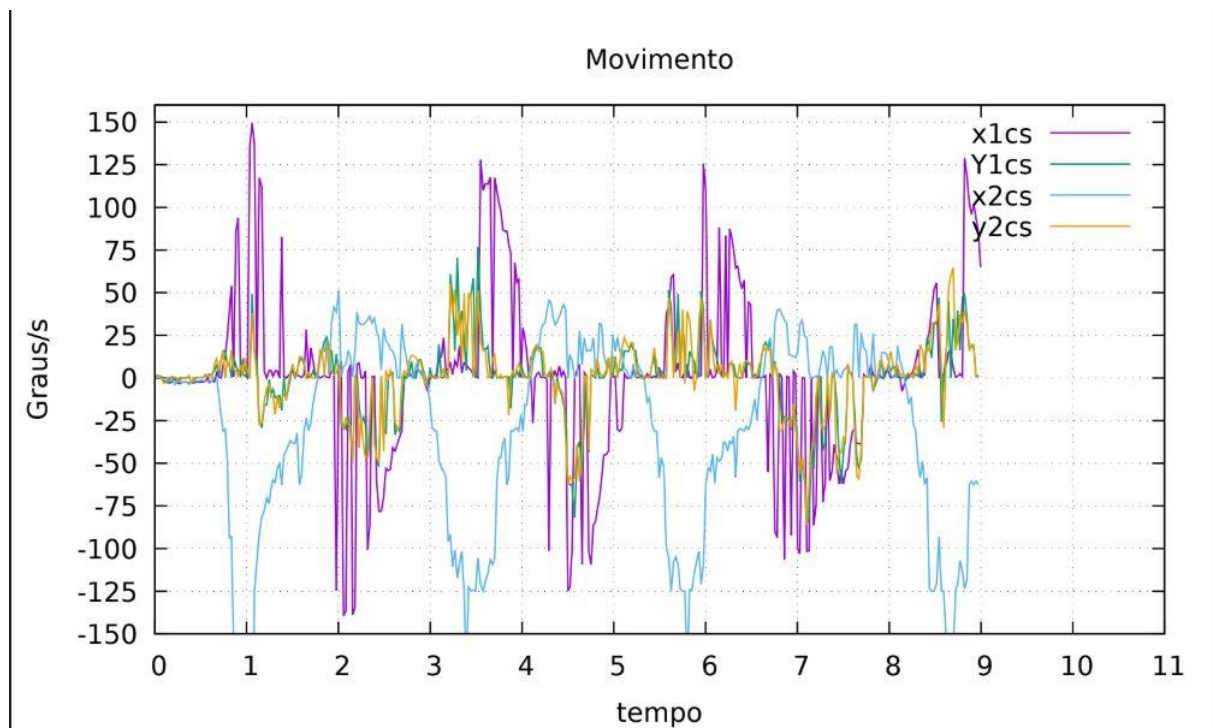


Figura 18. Gráfico do movimento, em graus por segundo

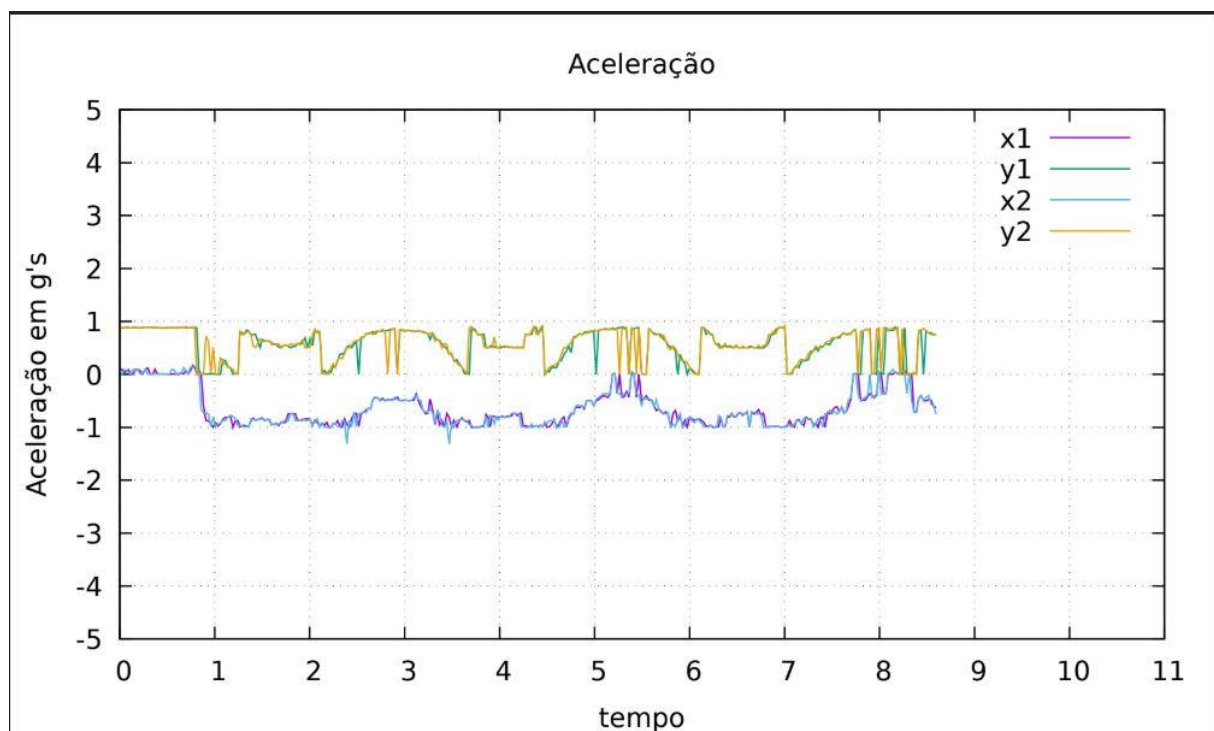


Figura 19. Gráfico da aceleração após o movimento, em graus ao quadrado por segundo

Obter dados no eixo X e no eixo Y é uma grande vantagem para a solução, haja vista que tanto o movimento vertical, tanto o horizontal faz diferença nas flexões. Os dados em dois eixos dão a solução a flexibilidade para que o produto seja utilizado em diversos outros movimentos estudados pela goniometria.

Há também um gráfico de temperatura que pode ser usado pela equipe fisioterapêutica para aferir se a temperatura do paciente está no padrão normal e se os próprios dispositivos não estão aquecendo muito, o que geraria desconforto a vítima.

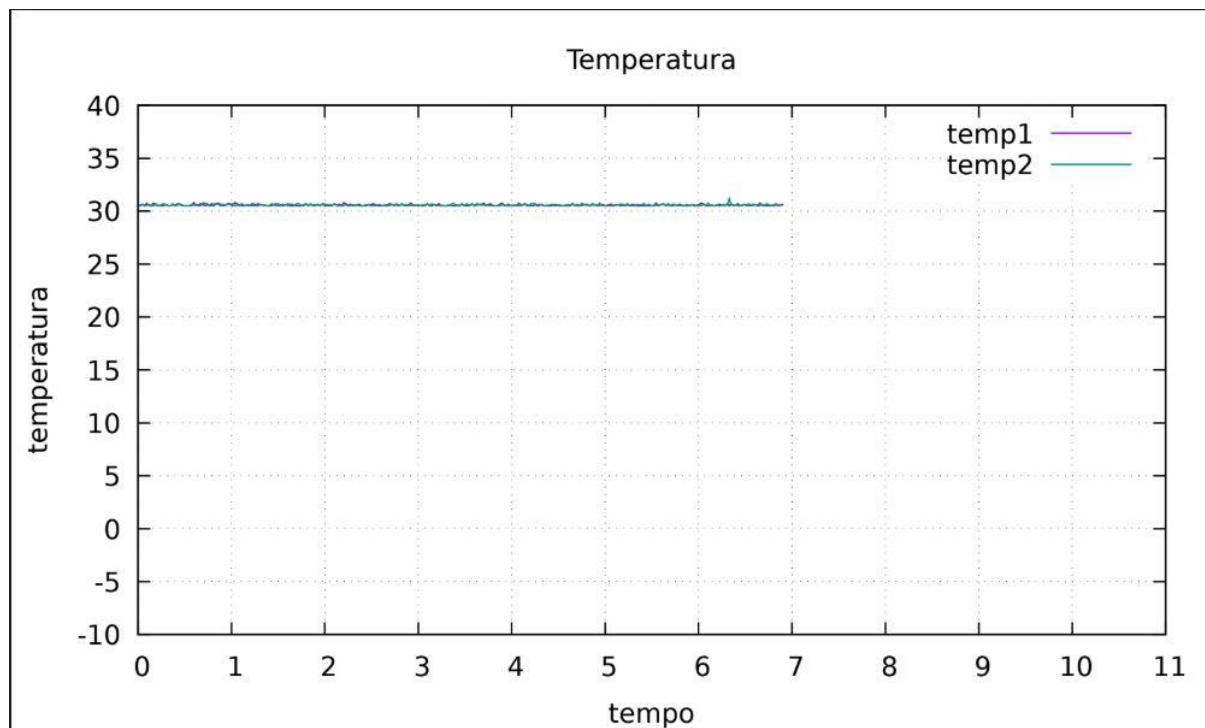


Figura 20. Gráfico de temperatura, medido em graus

Ao fim desta etapa, conseguimos obter os resultados a respeito do experimento proposto quanto a goniometria. Coletamos os dados dos ângulos de movimento de um paciente e inserimos em uma base para que pudéssemos traçar gráficos e verificar em números e visualmente como o as angulações do paciente estavam. Devido à dificuldade de ajuste dos sensores nos pacientes porque os sensores não são específicos para tirar ângulos de movimento alguns gráficos ficaram mais distorcidos do que o esperado.

6 CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta considerações finais acerca do trabalho realizado e sobre futuros trabalhos

Durante a consulta com o fisioterapeuta, vimos que para implementar um sistema de goniometria utilizando WBAN e medir as angulações a partir de pontos específicos a seu critério, seria necessário utilizar sensores do menor tamanho e peso possíveis, para não afetar a medida, além de gerar dados de inclinação aliados com dados de aceleração em cada um dos três eixos de movimento.

Ao fim da etapa de análise e compra de componentes tínhamos todos os dispositivos necessários para implementar a nossa rede. Não encontramos dificuldades para achar os componentes, o hardware do Raspberry Pi Zero foi mais robusto do que o necessário para a construção da rede. Os acelerômetros e giroscópios utilizados na solução são sensores bem comuns e comerciais, mas o ideal seria termos um sensor específico para este tipo de solução e que fosse pareado de forma fixa entre duas partes distintas do corpo do paciente para que as curvas obtidas fossem tiradas com mais precisão.

No fim do capítulo quatro, vimos como a implementação da rede foi feita. Com o sistema pronto, identificamos que a complexidade de construção do mesmo não é tão grande e que o hardware adquirido é mais robusto do que o necessário para a aplicação WBAN. Como tratou-se de um protótipo do produto, a solução não ficou bem otimizada para ser utilizada no corpo humano, já que ainda há a necessidade de fios para alimentação elétrica de componentes, além de termos usados fitas não tão confortáveis para contato com a pele humana. Para contornarmos essa dificuldade o ideal é a criação e implementação de uma solução de sistema embarcado e de sensores específicos para aplicações médicas.

Na última etapa do projeto, conseguimos obter os resultados a respeito do experimento proposto quanto a goniometria. Coletamos os dados dos ângulos de movimento de um paciente e inserimos em uma base para que pudéssemos traçar gráficos e verificar em números e visualmente como o as angulações do paciente estavam. Devido à dificuldade de ajuste dos sensores nos pacientes, alguns gráficos ficaram mais distorcidos do que o esperado, como explicado anteriormente isto acontece porque os sensores utilizados não foram projetos especificamente para este tipo de solução, causando esta leve discrepância.

Ao realizarmos este projeto conhecemos mais a fundo a tecnologia WBAN e suas aplicações, trata-se de um tipo de rede nova que vêm ganhando vários adeptos ao redor do mundo acadêmico e industrial. Esta solução bem projetada e com os fundos

necessários é capaz de ajudar pacientes, médicos e fisioterapeutas a cuidar de diversas enfermidades enfrentadas pela sociedade. A tecnologia aliada aos conhecimentos dos profissionais ajudará muitas pessoas a ter uma vida mais saudável e tranquila no controle de suas doenças.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MARQUES, Amélia Pasqual. **MANUAL DE GONIOMETRIA**. 3. ed. rev. e atual. [S. l.]: Manole, 2014. 136 p. ISBN 8520438970.
- [2] FOROUZAN, Behrouz A. **COMUNICAÇÃO DE DADOS E REDES DE COMPUTADORES**. 4. ed. [S. l.]: AMGH, 2007. 1134 p. ISBN 8586804886.
- [3] CHAKRABORTY, Chinmay; GUPTA, Bharat; GHOSH, Soumya K. A REVIEW ON TELEMEDICINE-BASED WBAN FRAMEWORK FOR PATIENT MONITORING. **Telemedicine Journal and e-Health**, [s. l.], 2013.
- [4] Z. Yan; B. Liu. WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING CONFERENCE (IWCMC), 7., 2011, Istambul. **A CONTEXT AWARE MAC PROTOCOL FOR MEDICAL WIRELESS BODY AREA NETWORK** [...]. [S. l.: s. n.], 2011.
- [5] QADRI, Syed Furqan; AWAN, Salman Afsar; AMJAD, Muhammad; ANWAR, Masood; SHEHZAD, Suneel. APPLICATIONS, CHALLENGES, SECURITY OF WIRELESS BODY AREA NETWORKS (WBANS) AND FUNCTIONALITY OF IEEE 802.15.4/ZIGBEE. **Department of Computer Science, University of Agriculture Faisalabad, PAKISTAN**, [s. l.], 2013.
- [6] NEGRA, Rim; JEMILI, Imen; BELGHITH, Abdelfettah. THE SECOND INTERNATIONAL WORKSHOP ON RECENT ADVANCES ON MACHINE-TO-MACHINE COMMUNICATIONS, 2016, Madri, Espanha. **Wireless Body Area Networks: Applications and technologies** [...]. [S. l.]: Elsevier, 2016.
- [7] ULLAH, S.; HIGGINS, H.; BRAEM, B.; LATRE, B.; BLONDIA, C.; MOERMAN, I.; KWAK, K. S. A comprehensive survey of wireless body area networks. **Journal of medical systems**, [s. l.], 2012.
- [8] TOBÓN, Diana P.; FALK, Tiago H.; MAIER, Martin. Context awareness in WBANs: a survey on medical and non-medical applications. **IEEE Wireless Communications**, [s. l.], 4 ago. 2013.
- [9] LATRÉ, B; BRAEM, B; MOERMAN, I; BLONDIA, C.; DEMEESTER, P. A survey on wireless body area networks. **Kluwer Academic Publishers Hingham, Massachusetts, USA**, v. 17, 2011.

- [10] ISO-KETOLA, Pekka; KARINSALO, Tapio; VANHALA, Jukka. HipGuard: A Wearable Measurement System for Patients Recovering from a Hip Operation. Institute of Electronics, Kankaanpää Unit Tampere University of Technology, Tampere, 2008.
- [11] SOINI, Mikael; NUMMELA, Jussi; OKSA, Petri; UKKONEN, Leena; SYDÄNHEIMO, Lauri. WIRELESS BODY AREA NETWORK FOR HIP REHABILITATION SYSTEM. **Tampere University of Technology, Department of Electronics, Rauma Research Unit 2008**, Tampere, 2008.
- [12] SALPAVAARA, T.; VERHO, J; LEKKALA, J. Capacitive insole sensor for hip surgery rehabilitation. **Proc. 2nd Int. Conf. on Pervasive Computing Technologies for Healthcare**, Tampere, Finland, 2008.
- [13] DRUDE, S. Requirements and Application Scenarios for Body Area Networks. **Proc. 16th Mobile and Wireless Communications Summit**, Budapest, Hungary, 2007.
- [14] CHAKRABORTY, Chinmay; GUPTA, Bharat; GHOSH, Soumya. A review on telemedicine-based WBAN framework for patient monitoring. **Telemedicine and e-Health**, [s. l.], 22 jul. 2013.
- [15] ALAM, M. M.; HAMIDA, E. B. Strategies for optimal mac parameters tuning in IEEE 802.15. 6 wearable wireless sensor networks. **Journal of medical systems**, [s. l.], 2015.
- [16] JOVANOVIĆ, E.; MILENKOVIC, A. Body area networks for ubiquitous healthcare applications: opportunities and challenges. **Journal of Medical Systems**, [s. l.], 2011.
- [17] ACE GESTÃO EM SAÚDE (ed.). **MANUAL DE GONIOMETRIA MEDIÇÃO DOS ÂNGULOS ARTICULARES**. [S. l.: s. n.], 2016.
- [18] KUROSE, Jim; ROSS, Keith. **Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down**. 6. ed. [S. l.]: Pearson Universidades, 2013. 656 p. ISBN 8581436773.
- [19] INVENSENSE INC (1197 Borregas Ave, Sunnyvale, CA 94089 U.S.A). **MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification**. 3.4. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2019.
- [20] DELMASTRO, Franca. Pervasive communications in healthcare. *In*: **COMPUTER Communications**. [S. l.: s. n.], 2012. v. 35. Disponível em: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0140366412001430-gr3.jpg>. Acesso em: 2 dez. 2019.
- [21] ZHANG, Chunqing; KANG, Fengyuan; GUO, Chao; ZOU, Weixia. An Interference Avoidance Method of Wireless Body Area Network Based on Chinese

Medical Band. **International Journal of Distributed Sensor Networks** 2015, [s. l.], 2015. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/283951571/figure/fig1/AS:316957824962561@1452580042107/Application-scenario-of-WBAN_W640.jpg. Acesso em: 2 dez. 2019.

[22] PEREIRA, António Manuel de Jesus; COSTA, Nuno; FDEZ-RIVEROLA, Florentino. Wireless Body Area Networks for Healthcare Applications: Protocol Stack Review. **International Journal of Distributed Sensor Networks** 2015, [s. l.], 2015. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/283951808/figure/fig3/AS:667622790139918@1536185085371/Typical-WBAN-architecture_W640.jpg. Acesso em: 2 dez. 2019.

[23] AKBAR, Muhammad Sajjad; YU , Hongnian; CANG, Shuang. Delay, Reliability, and Throughput Based QoS Profile: A MAC Layer Performance Optimization Mechanism for Biomedical Applications in Wireless Body Area Sensor Networks. **Journal of Sensors** 2016, [s. l.], 2016. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/289586521_Delay_Reliability_and_Throughput_Based_QoS_Profile_A_MAC_Layer_Performance_Optimization_Mechanism_for_Biomedical_Applications_in_Wireless_Body_Area_Sensor_Networks. Acesso em: 2 dez. 2019.

[24] GONIOMETRO de Acrílico. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em:
https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-956636788-gonimetro-grande-360-22cm-x-20mm-em-acrilico-carci-_JM?quantity=1. Acesso em: 2 dez. 2019.

[25] WHAT data do accelerometers really return?. [S. l.], 2014. Disponível em:
<https://stackoverflow.com/questions/25228961/what-data-do-accelerometers-really-return>. Acesso em: 2 dez. 2019.

[26] ACELERÔMETRO E Giroscópio 3 Eixos Mpu-6050 Gy-521 Mpu 6050 Gy521 Mpu6050. [S. l.], 2019. Disponível em:
<https://www.americanas.com.br/produto/70551532/acelerometro-e-giroscopio-3-eixos-mpu-6050-gy-521-mpu-6050-gy521-mpu6050>. Acesso em: 2 dez. 2019.

[27] RASPBERRY Pi Zero W. [S. l.], 2019. Disponível em:
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/>. Acesso em: 2 dez. 2019.

[28] CHEN, Min; HUYNH, De-Thu. An energy efficiency solution for WBAN in healthcare monitoring system. **2016 3rd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)**, [s. l.], 2016. Disponível em:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7811040>. Acesso em: 2 dez. 2019.

