

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA – FEELT
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

MARCUS VINÍCIUS MEIRELES SILVA

**PROPOSTA DE UM SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DOS MOVIMENTOS
CORPORAIS EM ATLETAS AMADORES, OBJETIVANDO ACELERAR O
CONDICIONAMENTO FÍSICO E EVITAR LESÕES**

UBERLÂNDIA - MG

2024

MARCUS VINÍCIUS MEIRELES SILVA

**PROPOSTA DE UM SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DOS MOVIMENTOS
CORPORAIS EM ATLETAS AMADORES, OBJETIVANDO ACELERAR O
CONDICIONAMENTO FÍSICO E EVITAR LESÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Biomédica.

Área de concentração: Dinâmicas neurais e controle motor.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Ricardo de Jesus Oliveira.

Uberlândia - MG

2024

Marcus Vinícius Meireles Silva

**PROPOSTA DE UM SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DOS MOVIMENTOS
CORPORAIS EM ATLETAS AMADORES, OBJETIVANDO ACELERAR O
CONDICIONAMENTO FÍSICO E EVITAR LESÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Biomédica.

Área de concentração: Dinâmicas neurais e controle motor.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Ricardo de Jesus Oliveira.

Banca Examinadora:

Sérgio Ricardo de Jesus Oliveira – FEELT

Márcio José da Cunha – FEELT

Adriano Alves Pereira – FEELT

Dedico este trabalho aos meus pais, Ely Nazário Silva e Tatiana Conceição Meireles Silva, meu irmão Matheus Augusto Meireles Silva, minha namorada Rafaela Duarte Silva e agradeço por todo esforço, apoio, carinho, amor, ajuda e companheirismo que me deram ao longo dos anos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor e amigo Dr. Sérgio Ricardo por todo o incentivo, motivação e orientação nesta caminhada acadêmica, pelos aprendizados e pelas oportunidades a mim concedidas.

Aos colegas e amigos Manoelson Moreira, Felipe Pereira, Murillo Gonçalves, Vinícius Zanini, Heitor Cervantes, Anna Karolinna, Fabiana Silva, Iasmin e todos outros que dividiram experiência e proporcionaram aprendizados, companheirismo e auxílio ao longo de todo a minha jornada acadêmica.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida durante os anos do curso.

RESUMO

Durante a realização de atividades físicas, a maioria dos adeptos ao esporte desconhecem os aspectos fisiológicos e de treinamento vinculados a esse tipo de atividade, e que estão diretamente relacionados ao desempenho e o surgimento de lesões, devido à ausência do acompanhamento de um profissional de saúde. Neste sentido, nossa hipótese é que, com o monitoramento dos movimentos corporais do ser humano, os erros de postura que podem comprometer o ganho de condicionamento físico e ainda com potencial para provocar lesões podem ser identificados. Esses erros, se corrigidos durante o treino, por meio de orientações ao atleta, podem acelerar o ganho de condicionamento físico e evitar possíveis lesões. Em face ao exposto, esse projeto visa construir um dispositivo vestível que capture os movimentos corporais do atleta amador, a partir de giroscópios enviando-os, de forma sem fio, para um smartphone. Esses dados serão utilizados por um aplicativo para orientação do atleta em tempo real, avaliação de desempenho e criação de protocolos de treinamento físico, a partir de diretrizes de um profissional de saúde, objetivando acelerar o condicionamento físico e minimizar a possibilidade de surgimento de lesões.

Palavras-chave: Remoto, Wi-Fi, lesões, treino, corredores de rua.

ABSTRACT

During physical activities, most sports fans are unaware of the physiological and training aspects linked to this type of activity, and which are directly related to performance and the emergence of injuries, due to the absence of monitoring by a health professional. In this sense, our hypothesis is that, by monitoring movements of the human body, the mistakes posture that can compromise the gain of physical conditioning and still with potential to cause injury can be identified. These errors, if corrected during training, through guidance to the athlete, can accelerate the conditioning gain physical and avoid possible injuries. In view of the above, this project aims to make a wearable device that captures the amateur athlete's body movements, from gyroscope sending them wirelessly to a smartphone. These data will be used by an application for real-time guidance of athletes, assessment of realization and creation of physical training protocols, based on guidelines from a health professional, aiming to accelerate physical conditioning and minimize possibility of purchase.

Keywords: Remote, Wi-Fi, injury, training, street runners.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Diagrama estrutural do sistema	17
Figura 2 -	Projeto placa de circuito impresso módulo sensor	18
Figura 4 -	Diagrama de blocos RunWizard	19
Figura 5 -	Posicionamento dos sensores inerciais	22
Figura 6 -	Protótipo do sistema RunWizard	24
Figura 7 -	Tela do aplicativo RunWizard durante atividade (quadril-tronco)	25
Figura 8 -	Representação do Movimento realizado para detecção da angulação quadril-tronco	26
Figura 9 -	Tela do aplicativo RunWizard durante atividade (quadril-jelho)	27
Figura 10 -	Representação do Movimento realizado para detecção da angulação quadril-jelho	27
Figura 11 –	Tela do aplicativo RunWizard durante atividade (quadril-tornozelo)	28
Figura 12 -	Representação do Movimento realizado para detecção da angulação quadril-tornozelo	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
WBAN	Wireless Body Area Network
DataCon	Concentrador de dados

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3 METODOLOGIA.....	16
3.1 VISÃO GERAL	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3.2 COMUNICAÇÃO SEM FIO.....	16
3.3 MÓDULO SENSOR.....	17
3.4 CONCENTRADOR DE DADOS	19
3.5 APLICATIVO E SMARTPHONE	19
3.6 TESTES	21
3.7 PROTÓTIPO	22
4 RESULTADOS	25
5 DISCUSSÃO	30
6 CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 70, com a divulgação dos estudos do médico Kenneth Cooper, os quais introduziram à sociedade um programa para o bem estar humano através da prática de exercícios físicos (COOPER, 1970), o número de adeptos de exercícios aeróbios, especialmente a corrida de rua, tem aumentado significativamente. No Brasil, segundo pesquisa realizada em 2011, a corrida é o segundo esporte mais praticado no país (DELOITTE, 2011) e entre 2012 e 2016 cresceu em 50% no número de adeptos (Pequenas empresas grandes negócios, 2016).

No entanto, uma porcentagem pequena da população adepta ao esporte conhece os treinamentos adequados e as questões fisiológicas envolvidas na prática da corrida [4]. Por esse motivo, (BAUMNA, 2004) (ASTRAND, 1987) (DELOITTE, 2011) evidenciam que cerca de metade da população pesquisada de corredores de rua, principalmente os iniciantes, e com menos de um ano de treino, apresentam algum tipo de lesão, especialmente no joelho (BAUMNA, 2004) (DELOITTE, 2011).

A partir de um estudo realizado por (DE CASTRO ISHIDA et al., 2013), verificou-se que existem 22 tipos de lesões musculoesqueléticas relacionadas à corrida. Além da relevante porcentagem de lesões no joelho, chamada tendinopatia patelar, as outras principais lesões envolvidas na prática de corrida de rua são a síndrome do estresse medial da tibia, tendinopatia do tendão calcâneo, fascite plantar, síndrome femoropatelar e síndrome da banda iliotibial (DE OLIVEIRA et al., 2012) (HINO et al., 2009). Todas estas lesões estão relacionadas principalmente a uma carga excessiva de treinamento, o que configura um fator extrínseco, ou seja, que advém de fatores externos ao indivíduo para o surgimento de lesão e, portanto, passível de ser evitado (DE OLIVEIRA et al., 2012). Isto significa que um dos fatores que podem favorecer as lesões é o tipo de treinamento a ser utilizado e a distribuição inadequada de volume, duração e intensidade do exercício durante o treinamento.

Neste sentido, a utilização de feedback e a orientação no treinamento de corredores, principalmente aqueles que são leigos no que se refere aos aspectos fisiológicos, biomecânicos e posturais envolvidos na corrida de rua, se tornam cada vez mais indispensáveis à medida em que esta prática se torna mais relevante no cenário nacional (TENG HL, 2014). Atualmente, encontram-se no mercado diversos equipamentos que auxiliam corredores de rua, como os *smartwatches*, aplicativos de corrida, trajes inteligentes e os *smarts textiles*, que são vestimentas tecnológicas que proporcionam conforto e aumento da performance do corredor (DE SOUZA et al., 2013) (DE SOUZA et al., 2013).

Além disso, é notório perceber que com o passar do tempo o corredor de rua busca novos desafios, devido a maturidade que o atleta amador adquire, à medida que correr começa a se

tornar rotina (GOMES, 2016). Com isso, a obtenção de sinais fisiológicos e cinesiológicos, a partir do uso de sensores inerciais, EMG, batimentos cardíacos etc., em comunhão com um aplicativo para smartphone, pode fornecer dados referentes ao desempenho do corredor de rua enquanto treina. Somado a isso e com o auxílio de um profissional de educação física, o corredor amador pode treinar seguindo protocolos de treinamento mais eficazes, a fim de aumentar o desempenho, ao mesmo tempo em que evita lesões durante o treino. (DE SOUZA et al., 2013).

Diante desta realidade, a tecnologia se apresenta como um meio para tornar cada vez mais eficiente, prático e abrangente o acesso à orientação e feedback aos praticantes da corrida de rua. Devido a isso, o uso de aplicativos para corrida tem-se tornado comum hoje em dia (JÚNIOR, 2017) (FINANCIAL EXPRESS, 2019) (STOPPA et al., 2014) e alguns exemplos famosos são o Runkeeper, Strava e Nike Running. Esses aplicativos oferecem ao corredor de rua métricas para monitoramento do progresso entre as corridas e possui um treino personalizado para cada objetivo almejado pelo atleta (NIKE, 2020).

A partir disso, o uso de aplicativos durante a corrida permite aos corredores de rua, segundo (MEIRA et al., 2018), obter informações para que o atleta possa ter conhecimento sobre seu rendimento e, ao mesmo tempo, acompanhar sua evolução no condicionamento físico. Devido a isso, o planejamento, definição de metas e acompanhamento de resultados tornam-se mais simples e efetivos. Embora alguns atletas questionem os benefícios, a grande maioria percebe nitidamente que com o uso desses recursos a motivação, a rapidez no ganho de condicionamento físico e a facilidade para acompanhar o próprio desempenho enquanto corre, melhoram significativamente. Sem dúvida, estes benefícios impactam diretamente na grande popularização destes recursos no universo dos corredores de rua amadores.

Atualmente, existem grandes investimentos de empresas no uso de acessórios inteligentes que interagem com o corpo humano e se conectam a um ou mais dispositivos. Essas tecnologias são chamadas vestíveis, ou dispositivos vestíveis e, a partir disso, em Singapura foi desenvolvido um traje inteligente capaz de informar ao atleta a postura da coluna, marcha da corrida e temperatura corporal, a partir de sensores espalhados ao longo do corpo (MARCHETTI et al., 2006). Mesmo com todos esses benefícios e no caso dos corredores de rua amador, o monitoramento da atividade muscular e do nível de movimentação das pernas durante a corrida, são de grande importância na detecção e prevenção de lesões no atleta enquanto corre (DE OLIVEIRA et al., 2018) (GHORAYEB et al., 2020).

Dentro deste contexto, este projeto propõe o desenvolvimento de um dispositivo vestível para monitoramento de sinais fisiológicos e cinesiológicos que, somados aos resultados de

avaliação de desempenho realizado por profissionais de educação física e/ou fisioterapeutas, fornecem ao corredor de rua amador informações úteis relativas às suas metas de desempenho, antes, durante e após cada treinamento realizado. Como resultado espera-se que, durante a prática da corrida de rua e com o uso deste dispositivo, os corredores amadores apresentem melhoria nos seus resultados e evitem lesões nos seus membros inferiores.

A partir desse projeto, esse trabalho tem como objetivo arquitetar e validar a comunicação entre os nós sensores e aplicativo de smartphone, apresentar um protótipo do aplicativo de smartphone e do hardware dos nós sensores.

De forma mais específica os objetivos do projeto são:

- 1 - Desenvolver um dispositivo vestível para captura de amplitude de movimento dos membros inferiores e inclinação do tronco e enviá-los a um smartphone para serem processados pelo aplicativo nele instalado;
- 2 - Desenvolver um aplicativo para dispositivos móveis (smartphones) que se comunique de forma sem fio com o dispositivo vestível desenvolvido.
- 3 - Desenvolver elementos gráficos para visualização dos parâmetros monitorados.
- 4 – Desenvolver uma rede sem fio via protocolo Wi-Fi, capaz de integrar o *smartphone* e os sensores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Artigos foram analisados e verificou-se que atualmente, o monitoramento remoto tem sido utilizado em várias pesquisas e por diversos equipamentos. O BioTracker é um dispositivo que busca monitorar possíveis cochilos de motoristas ao volante, através de sensores ECG, de frequência cardíaca e de eletroencefalograma (EEG). Os dados são enviados a um smartphone via módulo Wi-Fi e comunicação Bluetooth conectado a um Arduino UNO, o qual faz o processamento dos sinais. Nesse equipamento são utilizados métodos não invasivos e de fácil manipulação pelo usuário para determinar os sinais de cansaço durante a direção do veículo. Contudo, pode-se ver que a utilização do Arduino Uno é um fator limitante, visto que precisa de um módulo Wi-Fi, este não é integrado ao microcontrolador, resultando em um aumento do custo do produto. Além disso, o Arduino, o módulo Wi-Fi e os circuitos que compõem o sistema ocupam grande espaço, diminuindo o conforto do usuário.

Trabalhos relacionados à aquisição remota de dados ECG e de eletromiografia (EMG) são bastante difundidos na literatura, como é o caso do trabalho do Santana (SANTANA et al., 2017) que propõe a construção de um sistema de aquisição de sinais de EMG e ECG para dispositivos Android. A proposta é a construção de uma rede via internet, através da construção de uma API que capta os sinais e os envia a um Arduino para processamento e este, por sua vez, os envia para um smartphone objetivando, por exemplo, apresentá-lo na tela do dispositivo. Esse projeto viabiliza o monitoramento de sinais em qualquer lugar e em qualquer momento, além de poder auxiliar na análise e identificação de patologias comuns. Entretanto, como o armazenamento é feito somente na nuvem, se o usuário estiver em um local de difícil conectividade ou se perder a rede, os dados coletados serão descartados e a falta de um banco de dados local para armazenamento em situações como essa torna-se fator limitante nesse projeto, já que, nesse caso, o monitoramento é feito apenas em tempo real.

Chao Li (LI et al., 2017) propõe um sistema de monitoramento de doenças cardíacas que detecta os níveis de saturação de oxigênio no sangue, a pressão arterial e o eletrocardiograma do usuário e os envia diretamente a seu médico. Através de um smartphone Android o paciente pode acompanhar sua condição cardíaca, o que promove segurança, visto que ele pode ter acesso a seu estado cardíaco e caso necessário seja conduzido a uma emergência. A proposta promove um acompanhamento remoto da saúde do usuário, uma vez que o histórico do paciente fica armazenado e o médico possui acesso sempre que desejado. Nesse sistema, como é apontado pelo autor, há altas taxas de tráfego de dados. Com isso, o dispositivo é limitado com relação ao número de usuários, pelo fato de a aplicação oferecer monitoramento em tempo real do paciente e a comunicação entre sensores e smartphone ser via

Bluetooth, para que posteriormente seja transmitido à internet. Isso pode gerar um retardado no envio das informações que necessitam de alta demanda de transporte de dados.

1 METODOLOGIA

O projeto proposto consiste em um dispositivo vestível integrado a um aplicativo para smartphone. O dispositivo possibilitará, como descrito anteriormente, o monitoramento de sinais biomecânicos. Os giroscópios transmitirão, de forma sem fio, os sinais capturados para um concentrador de dados, dito como DataCon. Os sinais recebidos por ele serão processados e enviados para o smartphone, a partir da comunicação Wi-Fi. No smartphone um aplicativo mostrará os resultados na forma visual e gráfica.

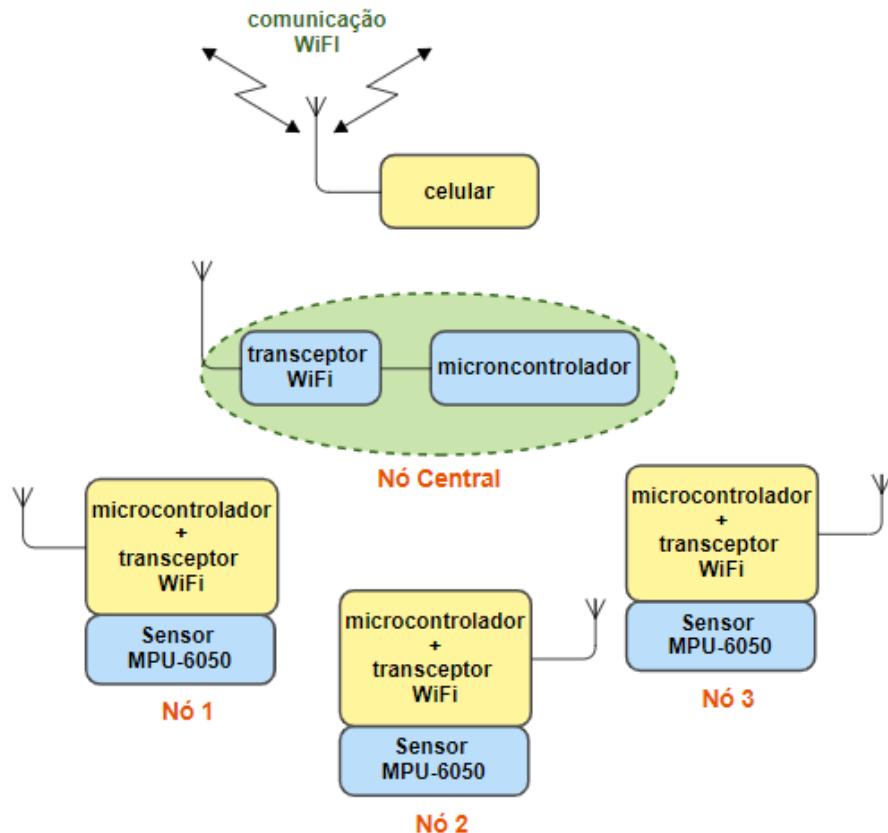
Esse trabalho consiste em avaliar a troca de informação entre os módulos sensores, o concentrador de dados e o smartphone a partir de uma rede WBAN. Bem como, apresentar um protótipo de aplicativo de smartphone capaz de apresentar gráficos de informações processadas provindas dos nós sensores.

3.1 COMUNICAÇÃO SEM FIO

A comunicação do sistema será de forma sem fio, através do protocolo de comunicação Wi-Fi. Ele será responsável pelo envio de informações dos sensores para o concentrador de dados e deste para o smartphone.

Nessa concepção, o módulo DataCon atuará como ponto de acesso e, portanto, gerenciando a comunicação WiFi entre sensores e smartphone. Este modelo de comunicação em rede será concebido a partir da topologia em estrela e a forma de comunicação será do tipo cliente-servidor. O DataCon exercerá o papel de cliente dos módulos sensores, realizando requisições e recebendo os dados monitorados e como servidor do smartphone respondendo a suas requisições.

figura 1 – Diagrama estrutural do sistema



3.2 MÓDULO SENSOR

Os módulos sensores utilizados nesse dispositivo são capazes de captar, ler e enviar ao módulo DataCon os sinais biomecânicos monitorados. Estes módulos deverão ser leves, pequenos e consumir pouca energia, uma vez que serão alimentados por bateria e ficarão acoplados ao corpo do usuário e, portanto, devem oferecer algum conforto durante o uso.

Pelo exposto pode-se perceber que o módulo sensor é composto por duas partes. Sendo uma o circuito eletrônico para captura e condicionamento da informação monitorada (sensor MPU-6050) e outra sendo o circuito que receberá essa informação (ESP 32), seja ela digital ou analógica, e a transmitirá para o módulo DataCon.

Tal estratégia permitirá que o monitoramento sem fio dos mais diversos tipos de sinais possa ser realizado. Essa característica de separação dos circuitos de captura e de transmissão do sinal monitorado é uma das mais importantes do sistema RunWizard, uma vez que o leque de aplicações para esse sistema torna-se bastante amplo e as adequações para cada tipo de aplicação resume-se na construção apenas do circuito de captura do sinal e adequação do aplicativo do smartphone para processamento e apresentação dos resultados do processamento dos sinais capturados.

A partir disso, a placa de circuito impresso do módulo sensor foi projetada e pode ser vista na figura 2 seu layout na PCB e na figura 3 o esquemático eletrônico, essa placa foi desenvolvida para ficar no tornozelo, joelho, cintura e tronco do usuário do sistema, além de contar com um circuito regulador de tensão e entrada para bateria.

figura 2 – Projeto placa de circuito impresso módulo sensor

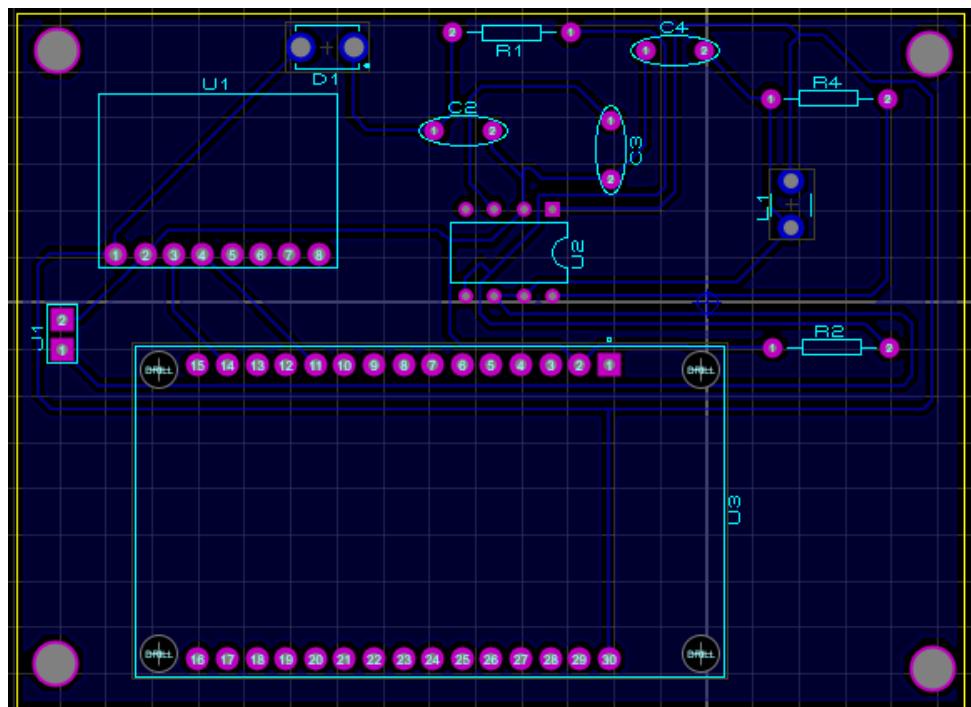
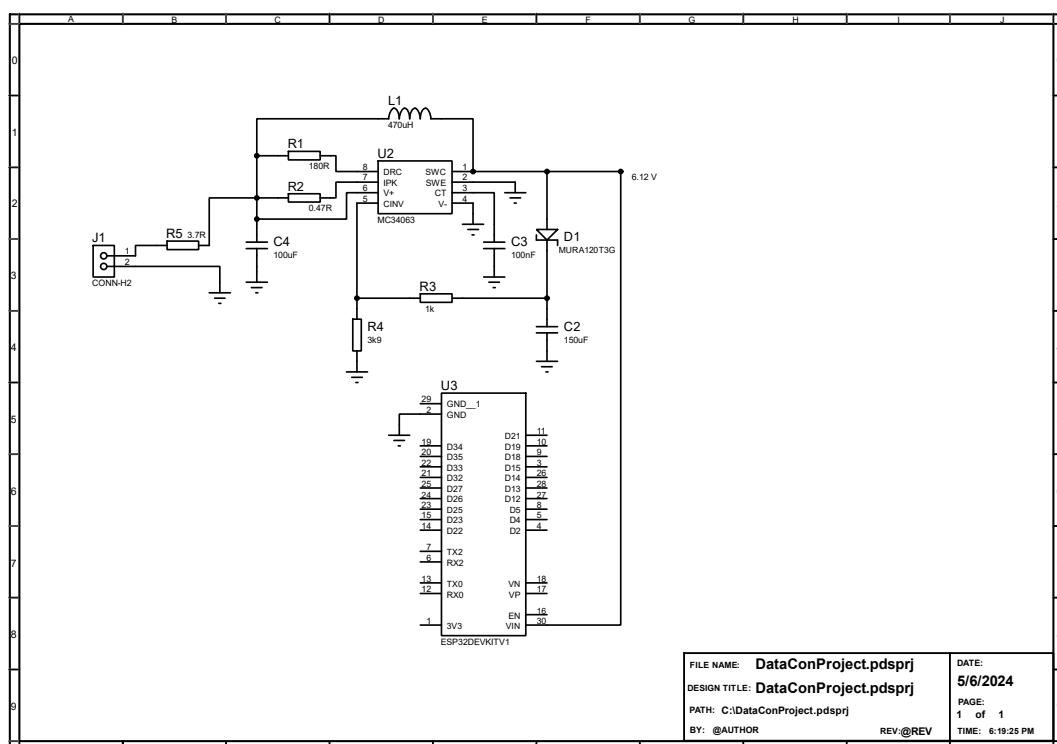


figura 3 – Esquemático eletrônico módulo sensor



3.3 CONCENTRADOR DE DADOS

O módulo concentrador de dados é composto por um tipo ESP32 fabricado pela empresa Espressif. Ele deverá armazenar os dados lidos pelos sensores e responder às solicitações do smartphone. A estrutura de operação do sistema é orientada a eventos, sendo estes provenientes de temporizações para leitura dos sensores e do recebimento de dados do smartphone. Após o atendimento a cada evento, o sistema entra em estado ocioso até a ocorrência de um novo evento. Com tal estratégia espera-se diminuir o tempo de resposta do sistema e o consumo de bateria, visto que o estado ocioso consome pouco processamento da CPU e, portanto, menos energia.

3.4 APlicativo e Smartphone

Este projeto também utiliza um smartphone com sistema operacional Android, destinado a executar o aplicativo para configuração do dispositivo, recebimento e processamento dos dados coletados pelo DataCon e apresentação dos resultados obtidos na tela.

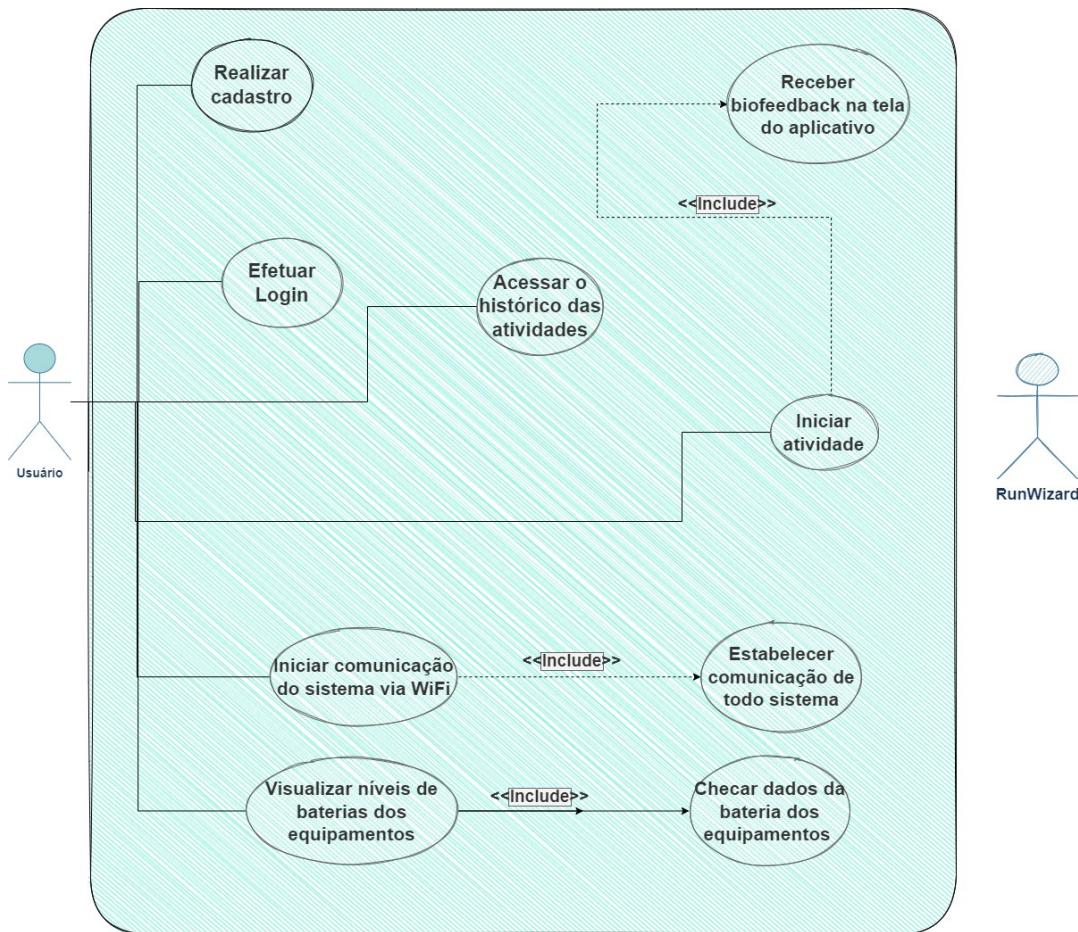
O aplicativo executado no smartphone envia para o concentrador de dados - DataCon as informações relativas às configurações dos módulos sensores e do próprio DataCon, além de apresentar em sua tela, gráfico e os ângulos obtidos das medições diferenciais dos módulos sensores.

Visando que o smartphone consiga executar o aplicativo ele deve ter conexão WiFi para que consiga entrar na rede do DataCon e comunicar com o dispositivo. Assim, pode-se perceber que o usuário, via aplicativo, tem acesso a todos os sinais coletados pelos sensores de forma instantânea.

A figura 4 apresenta de forma detalhada o caso de uso do aplicativo, informando o seu fluxo de trabalho e explanando de forma visual o que o usuário pode ter acesso com o aplicativo RunWizard.

O aplicativo, desenvolvido para os testes desse trabalho, permite que o usuário possa iniciar a captura dos dados dos sensores clicando no botão iniciar, logo após, os dados medidos pelos sensores são recebidos, processados e plotados na tela em forma de gráfico e apresentado seu valor em tempo real. O usuário pode parar de receber esses dados clicando no botão finalizar. Após finalizar o teste, esses dados ficam armazenados no smartphone e podem ser vistos sempre que desejado, na mesma tela de início do aplicativo. Após iniciar um novo teste, os dados são sobreescritos por novos dados.

Figura 4 – Diagrama de casos de uso RunWizard



Abaixo, segue a descrição de cada item presente no diagrama de blocos, dividindo entre usuário e sistema:

- **Usuário:**

- **Realizar cadastro:** - O projeto final, contará com uma tela a qual o usuário deverá realizar um cadastro com seus dados, a fim de identificar suas atividades, e com valores de comprimento de coxa e de canela, para que haja dados para a realização dos cálculos apresentados no item 3.7
- **Efetuar login:** - O projeto final, contará com uma tela a qual caso o usuário já tenha cadastro no aplicativo, ele deverá realizar o login para iniciar suas atividades, a fim de que possa ser identificado e seus dados processados pelo aplicativo.
- **Iniciar comunicação do sistema via WiFi:** - Para que haja comunicação entre os sensores e o aplicativo de smartphone, ao entrar na tela da atividade no projeto final, o usuário deverá aceitar a conexão à rede WiFi do sistema, clicando em um botão, fornecendo essa permissão.
- **Visualizar níveis de baterias dos equipamentos:** - O projeto final irá fornecer ao usuário, na tela do aplicativo, os níveis de bateria de cada modulo sensor, a fim de que se possa acompanhá-los e colocá-los para carregar quando necessário.

- **Acessar o histórico das atividades:** - O projeto final contará com uma tela com todas as atividades realizadas pelo usuário, com isso, o usuário pode ter acesso aos dados das suas atividades anteriores.
- **Iniciar atividades:** - O usuário irá clicar em um botão na tela do aplicativo para iniciar a atividade e começar o monitoramento dos dados.
- **Sistema:**
 - **Receber feedback na tela do aplicativo:** - Ao iniciar a atividade, o sistema irá fornecer na tela do aplicativo, dados com relação à inclinação de tronco, angulação de joelho e tornozelo e movimentação vertical e horizontal de joelho e tornozelo. Esses dados ficam em forma de gráfico e números em tempo real para que o usuário possa acompanhar.
 - **Estabelecer comunicação de todo sistema:** - Após o usuário iniciar a comunicação do sistema via WiFi, o celular que está instalado o aplicativo irá se comunicar com o concentrador de dados, que por sua vez irá realizar a conexão com todos os outros sensores, possibilitando a troca de informações e processamento dos dados.
 - **Checar dados da bateria dos equipamentos:** - O sistema checará a bateria de cada sensor e do concentrador de dados, para que possa apresentar os seus níveis na tela do aplicativo.

3.5 TESTES

Inicialmente, testes foram feitos para verificar a capacidade da rede WiFi e verificar se suas características estavam de acordo com a necessidade de obter múltiplos sensores simultaneamente no sistema. Sendo assim, três testes foram implementados: tempo de latência, taxa máxima de transferência de dados de um nó sensor e a taxa máxima de transferência de dados da rede.

O objetivo do teste de tempo de latência é medir o tempo decorrido desde que o pacote é transmitido pelo nó sensor até que é recebido com sucesso pelo DataCon. Este teste foi realizado com 1, 2 e 3 nós sensores na rede.

Para realizar este teste, um pino GPIO é configurado como entrada nó sensor e um pino GPIO é configurado como saída no DataCon. O pino de saída do DataCon está conectado ao pino de entrada no nó sensor. Então, quando o nó sensor envia um pacote para o DataCon, o tempo é salvo em uma variável chamada T_1 e quando o DataCon recebe o pacote com sucesso, seu pino de saída é alterado para um nível lógico alto. Quando o nó sensor recebe o nível lógico alto do DataCon, ele salva o instante de tempo em uma outra variável chamada T_2 . Com isso, o tempo de latência é definido como mostrado na equação 1:

$$\text{Tempo de latência} = T_2 - T_1 \quad (1)$$

O teste de taxa máxima de transferência de dados de um nó sensor tem como objetivo encontrar a taxa máxima de transferência de dados de um nó sensor para o DataCon. Isso é feito montando um pacote de dados completamente cheio (2312 bytes) e transmitindo-o repetidamente, sem remontar a carga útil e aumentando a taxa de frequência de transmissão com o objetivo de encontrar o limite da comunicação entre o nó sensor e o DataCon. Este teste foi realizado com apenas 1 nó sensor vinculado à rede.

O teste de taxa máxima de transferência de dados da rede analisa a quantidade de dados transferidos de cada nó sensor para o DataCon, sem perda de dados, enquanto o número de nós sensores na rede de transmissão de dados para o DataCon aumenta. Dentro deste teste, o pacote de dados foi completamente carregado (2312 bytes) antes de cada transmissão.

Para obter o valor da taxa de transferência, o número de pacotes recebidos por segundo pelo DataCon e o número de bytes na carga útil (2312 bytes) são organizados como mostrado na equação 2.

$$\text{Taxa de transferência} = \text{Número de pacotes recebidos} * 2312 \text{ Bytes} * 8 \text{ bits} \quad (2)$$

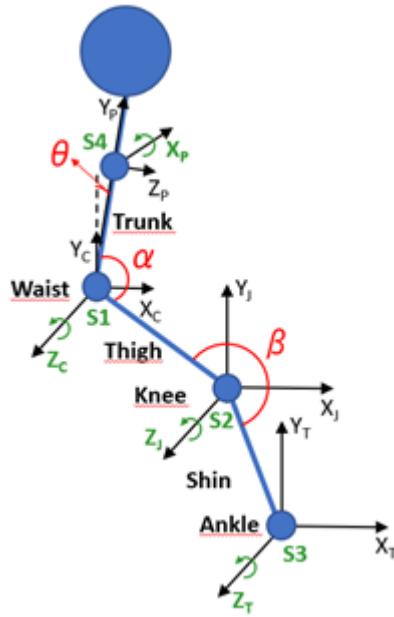
A equação acima foi usada para realizar tanto o teste de taxa máxima de transferência de dados de um nó sensor e o teste de taxa máxima de transferência de dados da rede.

3.6 PROTÓTIPO

A fim de se obter resultados que confirmem os objetivos esperados, um protótipo foi construído. Esse sistema é composto por quatro sensores iniciais (S_1, S_2, S_3, S_4), a disposição deles no corpo é visto da figura 5. Os dados coletados são processados pelo DataCon, que por sua vez, os envia para o aplicativo no smartphone.

A figura 5, apresenta além dos sensores, os ângulos α, β e θ , que representam a angulação entre cintura-coxa, coxa-canela e inclinação do tronco, respectivamente. Há também os planos cartesianos que representam os planos de cada sensor (x, y e z). Com isso, têm-se os eixos X_p, Y_p, Z_p que se referem ao sensor S_4 localizado no tronco, têm-se os eixos X_c, Y_c, Z_c que se referem ao sensor S_1 localizado na cintura, têm-se os eixos X_j, Y_j, Z_j que se referem ao sensor S_2 localizado no joelho e por fim os eixos X_t, Y_t, Z_t que estão localizados no tornozelo e se referem ao sensor S_3 .

Figura 5 – Posicionamento dos sensores iniciais



A partir dos dados levantados é necessário realizar o processamento a fim de encontrar as métricas necessárias para se conseguir quantizar os movimentos dos membros inferiores. Assim, o ângulo α nada mais é que a diferença angular entre os eixos z dos sensores S_1 e S_2 , ou seja, α é igual a $(Z_c - Z_j)$, como é visto na equação 3. O ângulo β é a diferença angular entre o eixo z de S_1 e S_3 ($Z_c - Z_t$), como é visto na equação 4. O ângulo θ , por sua vez, é a diferença angular presente entre o eixo z de S_1 e eixo x de S_4 ($Z_c - X_p$), como é visto na equação 5.

$$\alpha = Z_c - Z_j \quad (3)$$

$$\beta = Z_c - Z_t \quad (4)$$

$$\theta = Z_c - X_p \quad (5)$$

Obtendo os valores de α e β , provindos das equações 3 e 4 dos sensores, e considerando que é conhecido o tamanho da canela e da coxa do usuário, a movimentação horizontal e vertical do joelho e do tornozelo podem ser calculadas. Para obter os valores de elevação das duas partes do corpo, deve-se partir das equações 6 e 7 (equações de seno e cosseno) e dos planos cartesianos apresentados na figura 5.

$$\text{seno}(\alpha) = \frac{\text{Cateto Oposto}}{\text{Hipotenusa}} \quad (6)$$

$$\text{cosseno}(\alpha) = \frac{\text{Cateto Adjacente}}{\text{Hipotenusa}} \quad (7)$$

Conhecendo essas equações, é assumido, que a hipotenusa se refere ao comprimento da coxa e da canela pode-se entender que o cateto oposto se refere ao movimento vertical do joelho

e do tornozelo (Y_j e Y_t), já o cateto adjacente, refere-se ao movimento horizontal do joelho e tornozelo (X_j e X_t).

Assumindo, que uma pessoa está de pé e ereta, como é visto na figura 8, o valor de $\alpha = 180^\circ$, então os valores de $X_j = 0$ e de $Y_j = -\text{coxa}$, como pode ser visto nas equações 8 e 9.

$$X_j = \text{coxa} * \text{Sen}(180) = 0 \quad (8)$$

$$Y_j = \text{coxa} * \text{Cos}(180) = -\text{coxa} \quad (9)$$

Com relação ao tornozelo, considerando a mesma situação do caso anterior, os valores de $Y_t = -\text{canela}$ e $X_t = 0$, como é apresentado na equação 10 e 11.

$$X_t = \text{canela} * \text{seno}(\beta) = 0 \quad (10)$$

$$Y_t = \text{canela} * \text{coseno}(\beta) = -\text{canela} \quad (11)$$

A partir disso, esse protótipo foi colocado em caráter experimental de forma que se pudesse simular a comunicação entre o DataCon e os módulos sensores, bem como o processamento dos dados obtidos e a sua apresentação na tela do smartphone. Assim, na figura 6, é mostrado um módulo sensor, posicionado na altura do joelho (S_2), um módulo sensor posicionado na altura do peito (S_4), um módulo sensor posicionado na altura do tornozelo (S_3) e o DataCon, posicionando na linha da cintura (S_1). Esse protótipo foi desenvolvido de caráter experimental a fim de se obter resultados e comprovar o funcionamento do sistema.

Figura 6 – Protótipo do sistema RunWizard



Os testes com relação ao protótipo foram divididos em três partes. Todas elas, realizou-se movimentos e aquisições de dados do sensor giroscópio do MPU-6050 por 8 segundos e os resultados obtidos foram apresentados na tela do smartphone, com gráficos e valores em tempo real. Cada movimento realizado refere-se a encontrar valores de angulação e elevação de joelho e tornozelo. Os movimentos e resultados obtidos podem ser vistos no item 4 desse trabalho.

4 RESULTADOS

Os resultado, provindos dos testes apresentados no tópico 3.6 deste documento estão contidos na tabela 1.

Tabela 1 – Resultado dos testes

Número de sensores	Latência (ms)	Taxa máxima de um nó (Mbps)	Taxa máxima da rede (Mbps)
1 Nô Sensor	1.8	1.94	1.69
2 Nôs Sensores	1.8	X	1.58
3 Nôs Sensores	1.8	X	1.42
4 Nôs Sensores	1.8	X	1.23

A partir da tabela 1, primeiramente é observado que para avaliar a taxa máxima de transferência de dados para mais de um sensor, é considerada a taxa máxima da rede e não a taxa máxima de um só sensor, por essa razão, colocou-se um X no resto da coluna, visto que não se aplica o resultado dessa coluna para mais de um sensor.

No teste de tempo de latência, os valores obtidos foram os mesmos para cada número de nós na rede, mesmo quando um dos nós é o smartphone. Essa medida foi feita a partir do mesmo nó sensor, mas aumentando o número de nós sensores ativo na WBAN.

Os resultados obtidos no protótipo foram divididos em três etapas, diferença de angulação entre tronco e quadril, quadril e joelho e angulação do tornozelo.

A primeira etapa, pode ser vista na figura 7, ela demonstra um gráfico informando a angulação de um movimento de inclinação do tronco para frente, como é demonstrado na figura 8. Inicialmente a diferença angular entre o tronco e a cintura era igual a zero e esse movimento foi realizado até se aproximar de 45° e retornar novamente a 0° , como é visto nas figuras 6 e 7.

Figura 7 Tela do aplicativo RunWizard durante atividade quadril-tronco



Figura 8 Representação do Movimento realizado para detecção da angulação quadril-tronco



A segunda parte do resultado do protótipo é a diferença angular entre quadril e joelho, essa diferença é apresentada na tela do aplicativo conforme mostrado na figura 9. Além da diferença de angulação, pode-se tirar também a elevação do joelho, ou seja, quantos centímetros o joelho foi elevado no movimento que é apresentado na figura 10. Nessa etapa, inicialmente a diferença angular entre quadril e joelho era equivalente a 0° e o joelho foi elevado até aproximadamente 90° , apresentando uma elevação de 44 cm (comprimento da coxa) a 0 cm, conforme apresentado na tela do aplicativo da figura 9.

Figura 9 Tela do aplicativo RunWizard durante atividade (quadril-joelho)

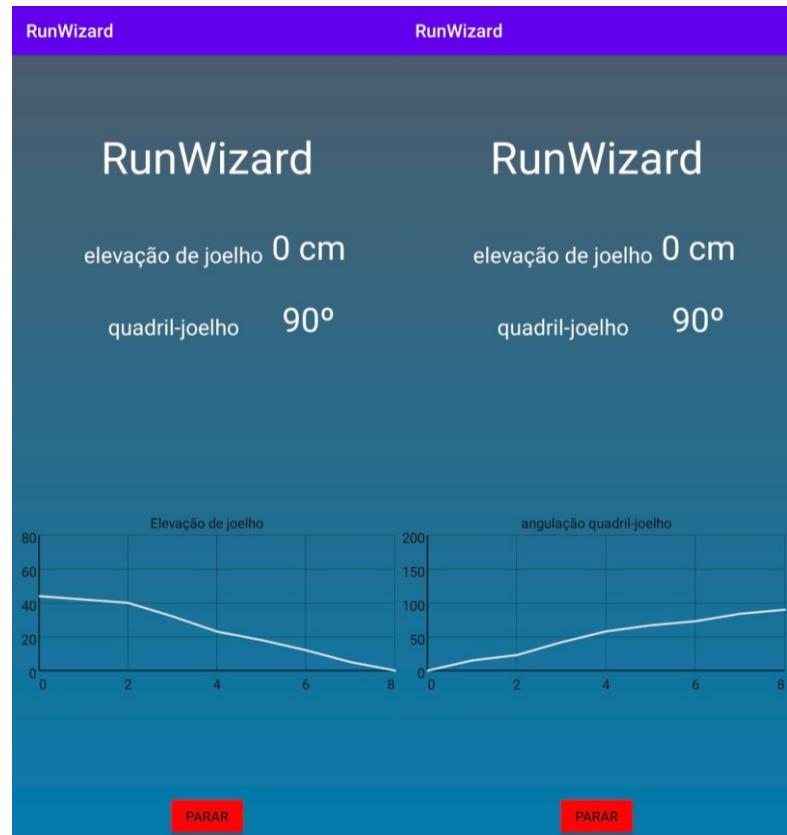


Figura 10 Representação do Movimento realizado para detecção da angulação quadril-joelho



Por fim a última etapa do protótipo é referente ao tornozelo, ela apresenta a diferença angular entre quadril e tornozelo, essa diferença é apresentada na tela do aplicativo conforme mostrado na figura 11. Além da diferença de angulação, pode-se tirar também a elevação do tornozelo, ou seja, quantos centímetros o tornozelo foi elevado no movimento que é apresentado na figura 12. Nessa etapa, inicialmente a diferença angular entre quadril e tornozelo era equivalente a 0° e o tornozelo foi elevado até aproximadamente 45° , apresentando uma elevação de 37 cm (comprimento da canela) a 0 cm, conforme apresentado na tela do aplicativo da figura 12.

Figura 11 Tela do aplicativo RunWizard durante atividade (quadril-tornozelo)

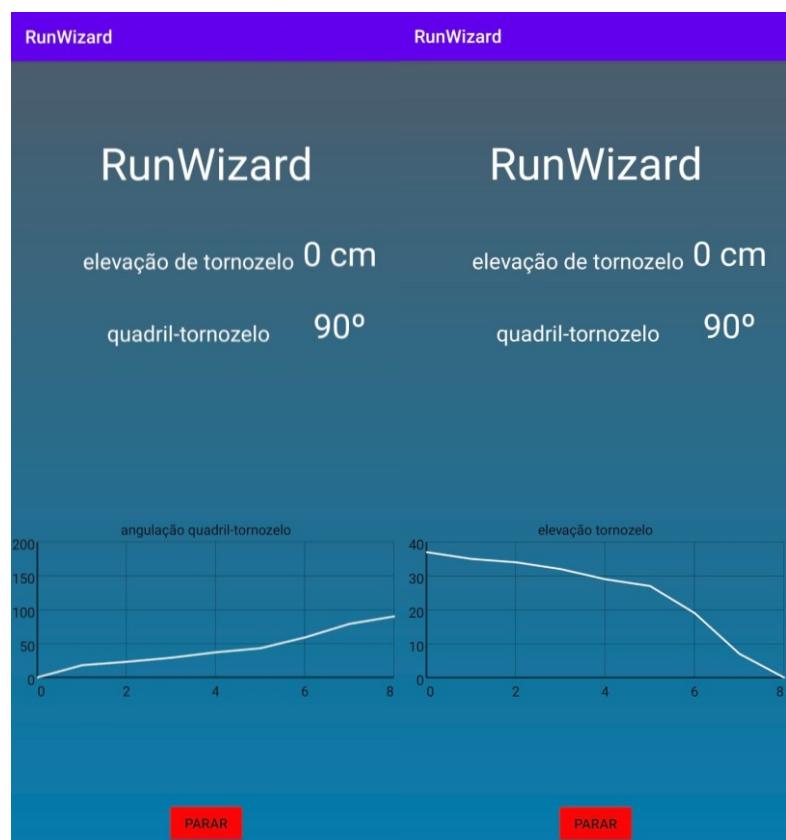


Figura 12 Representação do Movimento realizado para detecção da angulação quadril-tornozelo



5 DISCUSSÃO

Com relação aos testes de rede, durante a execução, percebeu-se que a frequência máxima de transmissão alcançada foi de 100 pacotes por segundo. Procurando a razão para isso, descobriu-se que essa limitação é da biblioteca ESP32 WiFi. Essa biblioteca limita a taxa de transmissão a apenas um pacote a cada 10 ms. Essa limitação precisa ser estudada, visto que o protocolo WIFI permite valores maiores que os apresentados. Todos os resultados mostrados na tabela 1 foram obtidos sob a limitação da biblioteca ESP32 WiFi.

O teste de latência foi obtido mesmo valor (1,8 ms) para qualquer número de nós sensores era esperado visto que quando o nó sensor obtém o tempo da janela para transmitir seus dados, naquele momento, o canal de rádio frequência estará disponível para ele e isso significa que todos os outros nós sensores precisam esperar que a transmissão termine, para que outro nó sensor inicie uma nova transmissão.

O valor obtido no teste de rendimento máximo de um nó sensor ficou abaixo do esperado, pois o padrão WiFi utilizado nos experimentos foi o IEEE 802.11b e por isso, o

resultado esperado deve ser muito maior. No entanto entendeu-se que esse valor era pequeno, devido à limitação da biblioteca.

No teste de transferência máxima de dados da rede, pode-se notar que o valor da taxa de transferência diminui enquanto o número de nós sensores aumenta. Contudo, a diminuição na velocidade de transmissão é um valor não expressivo, indicando a possibilidade de estar aumentando o número de pacotes colidindo no ar.

Olhando para os resultados por outro ponto de vista, pode-se perceber que, mesmo com a diminuição da taxa de transferência de dados, o número de sensores pode ser aumentado, ainda mantendo um bom valor de taxa de transferência. Mesmo o resultado apontando para o protocolo WiFi como uma boa escolha para uma WBAN que gerencia os nós sensores sem fio conectados ao corpo, acredita-se que esses resultados poderiam ser muito melhores se a biblioteca pudesse ser reescrita evitando a limitação de um pacote transmitido a cada 10 ms, conforme imposto pela biblioteca WiFi ESP32.

Com relação ao protótipo desenvolvido, pode-se ver que o processamento dos dados obtidos pelos módulos sensores está ocorrendo da forma esperada, visto que ao realizar movimentos descritos no item 3.7 e apresentados nos resultados, a fim de ver a diferença angular entre eles, pode-se ver que a sua resposta está de acordo com o movimento realizado e com isso, a tela do aplicativo está apresentando a diferença angular entre os sensores posicionados no corpo, bem como a elevação do joelho e tornozelo e os gráficos representando a variação desses valores ao longo do tempo.

6 CONCLUSÃO

Os resultados experimentais apresentados inicialmente a partir da WBAN baseada no protocolo WiFi mostra-se uma ótima opção quando há a necessidade de uma alta taxa de transferência de dados na rede, mesmo que haja a limitação no sistema de 100 pacotes por segundo. Contudo, para estudos futuros, nota-se a necessidade de estudar outras bibliotecas, a fim de que se possa avaliar aumentar o número de pacotes enviados por segundo.

A partir dos resultados apresentados, pode-se compreender que o projeto ocorreu de forma esperada, visto que é possível calcular todas as métricas necessárias para se realizar o monitoramento de corredores de ruas e possivelmente realizar protocolos de treinamento junto a um profissional de saúde.

Vale ressaltar que é possível construir um produto a partir dessa pesquisa e esse produto não se limita somente à corredores de rua amadores, mas também a outros projetos que necessitam de sensores acoplados ao corpo e feedbacks no próprio smartphone do usuário.

Com relação ao protótipo verifica-se sua viabilidade, bem como a continuidade de estudos futuros. Visto que esse sistema formado por módulos sensores e um concentrador de dados acoplados a uma rede que se comunica com um aplicativo no smartphone pode ser utilizado para diversas aplicações que necessita de um acompanhamento sensorial e feedbacks no aplicativo.

Vê-se necessário realizar a validação das medidas, a partir de um dispositivo com valores calibrados e conhecidos, comparar os valores de angulação e elevação de membros superiores com àqueles obtidos nesse trabalho.

Por fim, a partir desse trabalho pode-se inferir que há estudos futuros a serem feitos, como a elaboração de um protocolo de treinamento vinculado ao profissional da saúde, bem como a fabricação da placa de circuito impresso, para que seja possível prender o dispositivo de forma concreta no corpo do ser humano e estudos relacionados a durabilidade do produto.

REFERÊNCIAS

- ASTRAND, P.; RODAHL, K.** Avaliação da capacidade de trabalho físico na base dos testes. *Tratado de fisiologia do exercício*. Tradução de Edmundo Vieites Novaes, et al. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1987.
- BAUMAN, A.E;** Updating the evidence that physical activity is good for health: an epidemiological review 2000-2003. *J Sci Med Sport*. 7 Suppl 1:6-19, 2004.
- C. Li, X. Hu, L. Z.-P.** computer science, and undefined 2017, “The IoT-based heart disease monitoring system for pervasive healthcare service,” Elsevier, Accessed: Sep. 06, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917316745>.
- COOPER, Kenneth H.** The new aerobics. 1970.
- DE CASTRO ISHIDA, Jaqueline et al.** Presença de fatores de risco de doenças cardiovasculares e de lesões em praticantes de corrida de rua. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, v. 27, n. 1, p. 55-65, 2013.
- DE OLIVEIRA, Diogo Gonçalves et al.** Prevalência de lesões e tipo de treinamento de atletas amadores de corrida de rua. *Corpus et Scientia*, v. 8, n. 1, p. 51-59, 2012.
- DE OLIVEIRA, Victor Inácio; MARTINS, Hugo Magalhães; PEREIRA, Amanda da Silva; NETO, David Martins Rodrigues; FÉLIX, Kayque Caramelo; RODRIGUES, Thais Vieira; MENDONÇA, Victor Gomes.** Oxímetro de pulso com monitoramento via bluetooth. *Journal of Engineering and Business*, [S. l.], p. 1-14, 28 mar. 2018.
- DE SOUZA, Carlos André Barros; AQUINO, Flávia Alves de Oliveira; BARBOSA, Maria de Lourdes Caldas; ALVAREZ, Rafaela Baggi Prieto; TURIENZO, Tiene Teixeira.** PRINCIPAIS LESÕES EM CORREDORES DE RUA. *Revista UNILUS Ensino e Pesquisa*, [S. l.], p. 35-41, 20 jul. 2013.
- Deloitte., (2011).** Muito Além do Futebol - Estudo sobre esportes no Brasil.
- Financial Express.** Samsung Gear Sport and Gear Fit2 Pro review: Go beyond fitness, stay connected and healthy. Disponível em: <https://www.financialexpress.com/industry/technology/samsung-gear-sport-and-gear-fit2-pro-review-go-beyond-fitness-stay-connected-and-healthy/1150136/>. Acesso em: 22 março de 2019.
- GHORAYEB, Nabil.** Arritmias Cardíacas no esportista. In: **GHORAYEB, Nabil.** Grupo de Estudos de Cardiologia do Esporte. [S. l.], 2011. Disponível em: <http://departamentos.cardiol.br/gecesp/coluna/62.asp>. Acesso em: 1 dez. 2020.
- GOMES, Danilo José Leite.** Lesões osteomioarticulares em corredores de rua amadores. 2016.
- HINO, Adriano Akira Ferreira et al.** Prevalência de lesões em corredores de rua e fatores associados. *Rev Bras Med Esporte*, v. 15, n. 1, p. 36-9, 2009.

JÚNIOR, Fábio Paschoal et al. IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES COMPORTAMENTAIS DE USUÁRIOS DE APLICATIVOS SOCIAIS PARA A PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO SAUDÁVEL DO USUÁRIO. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia-RIPE, v. 2, n. 10, p. 156-175, 2017.

M. Santana, ... A. N.-A. do S., and undefined 2017, “Sistema de Aquisição de Sinais de EMG e ECG para Dispositivos Android,” *revistas.uneb.br*, Accessed: Sep. 06, 2021. [Online]. Available: <https://www.revistas.uneb.br/index.php/staes/article/view/3831>.

MARCHETTI, Paulo Henrique; DUARTE, Marcos. Instrumentação em Eletromiografia. Laboratório de Biofísica, escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, [S. l.], p. 1-29, 13 mar. 2006.

MEIRA, Leonardo Carloni Rodrigues; PIRES, Daniel Facciolo. Qualidade de software na visão do usuário: um estudo com aplicativos que apoiam corrida de rua. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica*, Franca, p. 1-28, 3 nov. 2018.

Moore IS, Willy RW. Use of Wearables: Tracking and Retraining in Endurance Runners. *Curr Sports Med Rep.* 2019 Dec;18(12):437-444. doi: 10.1249/JSR.0000000000000667. PMID: 31834174.

NIKE (USA). Nike Run Club. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.nike.com.br/corrida/app-nike-plus>. Acesso em: 15 dez. 2020.

Pequenas empresas grandes negócios. Número de corredores de rua cresce 50% em 5 anos e movimenta mercado. Disponível em:
<http://g1.globo.com/economia/pme/pequenas-empresas-grandes-negocios/noticia/2016/12/numero-de-corredores-de-rua-cresce-50-em-5-anos-e-movimenta-mercado.html>. Acesso em: 15 março de 2019..

SANTOS, Caroline P.; VIEIRA, Mário E. M.; STEVAN JR, Sérgio L. SENSORES INERCIAIS APLICADOS À MARCHA HUMANA NO ESPORTE. SEA-Seminário de Eletrônica e Automação Ponta Grossa / 2016, Ponta Grossa, p. 1-6, 20 jul. 2016.

STOPPA, Matteo; CHIOLERIO, Alessandro. Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. *Sensors* , [s. l.], p. 1-36, 14 set. 2014 doi: 10.3390/s140711957.

Teng HL, Powers CM. Sagittal plane trunk posture influences patellofemoral joint stress during running. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2014; 44(10):785–92.

VIEIRA, Mário Elias Marinho; GONÇALVES, Victor Camargo; STEVAN JR., Sérgio L. A importância de equipamentos tecnológicos em esportes de alto rendimento. 10º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, Campos Gerais, p. 1-10, 20 ago. 2015.