

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Eletrônica

Análise Cinemática da Extensão Nórdica com Aplicativo Mobile

Autor: Bismark Cotrim Teixeira
Orientador: Prof. Dr. Roberto de Souza Baptista

Brasília, DF
2023



Bismark Cotrim Teixeira

Análise Cinemática da Extensão Nórdica com Aplicativo Mobile

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia Eletrônica) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia Eletrônica).

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Souza Baptista

Brasília, DF

2023

Este trabalho é dedicado a minha família e amigos, que sempre me apoiaram e incentivaram a continuar na jornada do conhecimento

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à Deus e minha família por proporcionar um ambiente de amor e carinho no qual pude crescer e me formar um cidadão decente.

Aos meus pais Bismark e Janete por sempre acreditar nos meus sonhos. Meus irmãos Mikaelly e Mark sempre estando presente quando preciso de auxílio.

Aos meus amigos Andrew, Franco, Luis, Guilherme, Victor, Giovanni, Rafael e Rafaela. Pois foi com a ajuda de cada um que conseguir chegar onde cheguei, sendo compartilhando conhecimento ou me motivando a continuar à jornada.

Ao meu Orientado Prof. Dr. Roberto Batista e ao Prof. Dr. Amilton Vieira por sua dedicação para realizar o projeto.

A todos os Colaboradores do Laboratório LARA por suas imensas contribuições no projeto e nas minhas habilidades acadêmicas.

Resumo

Este trabalho propõe um sistema portátil e de baixo custo para realizar a medição do ângulo de quebra na extensão nórdica. Utilizado a linguagem Javascript com o framework React Native juntamente com a ferramenta Expo, com o intuito de desenvolver um aplicativo que atende os dois sistemas operacionais para smartphones. O aplicativo Nórdico usa o acelerômetro e o giroscópio, sensores do próprio smartphone, para realizar a medição do ângulo de quebra, o sistema de medição será iniciado quando o usuário pressionar o botão na tela do aplicativo destinada ao teste. A medição se encerra quando o usuário pressionar novamente o botão na tela do aplicativo. Capturando os dados dos sensores obtém-se o ângulo beta, que faz referência direta ao ângulo de quebra. Os dados são compartilhados pelo usuário. Sendo útil para analisar as condições da saúde muscular e auxiliar na melhor recuperação e desempenho do usuário.

Palavras-chaves: Extensão nórdica, condições físicas, aplicativo mobile

Abstract

This work proposes a portable and low-cost system to measure the break angle in Nordic flexion. Used the Javascript language with the React Native framework together with the Expo tool, in order to develop an application that serves both operating systems for smartphones. The Nordic application uses the accelerometer and gyroscope, sensors of the smartphone itself, to measure the break angle, the measurement system will be started when the user presses the button on the application screen intended for the test. The measurement ends when the user presses the button again on the application screen. By capturing data from the sensors, the beta angle is obtained, which makes direct reference to the break angle. Data is shared by the user. Being useful to analyze muscle health conditions and assist in the best recovery and performance of the user.

Key-words: Nordic extension, physical conditions, mobile app

Lista de ilustrações

Figura 1 – Músculo Isquiotibial	14
Figura 2 – Angulação 90°	14
Figura 3 – Angulação queda	15
Figura 4 – Acelerômetro por dentro	16
Figura 5 – Giroscópio por dentro	17
Figura 6 – Direções de referência do celular	18
Figura 7 – Roteiro do aplicativo	25
Figura 8 – Medindo a aceleração nos eixos	26
Figura 9 – Medindo a aceleração com a gravidade da Terra nos eixos	27
Figura 10 – Medindo os ângulos nos eixos	27
Figura 11 – Taxa dos ângulos medidos pelo sensor giroscópio	28
Figura 12 – Ângulo Alpha coletado	29
Figura 13 – Ângulo Alpha coletado na posição pretendida	29
Figura 14 – Ângulo Alpha coletado na posição ideal do sensor	30
Figura 15 – Ângulo Beta coletado	31
Figura 16 – Músculo Isquiotibial durante a Extensão Nórdica	32
Figura 17 – Criar	33
Figura 18 – Entrar	33
Figura 19 – Esqueceu	33
Figura 20 – Inicial	34
Figura 21 – Menu	34
Figura 22 – Instruções	34
Figura 23 – Iniciar	35
Figura 24 – Durante	35
Figura 25 – Final	35
Figura 26 – Posição inicial do teste, com smartphone preso na lombar	36
Figura 27 – Posicionamento dos pontos para calculo do ângulo de quebra	36
Figura 28 – Comparação ângulo de quebra do usuário A	37
Figura 29 – Comparação ângulo de quebra do usuário V	37
Figura 30 – Comparação ângulo de quebra dos usuários	38
Figura 31 – Posicionamento do smartphone na lateral da coxa	39
Figura 32 – Posicionamento do smartphone na parte posterior da coxa	40
Figura 33 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, primeira bateria	40
Figura 34 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição traseira, primeira bateria	41

Figura 35 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria	42
Figura 36 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição traseira, segunda bateria	42
Figura 37 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria primeiro teste	43
Figura 38 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria segundo teste	43
Figura 39 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria terceiro teste	44
Figura 40 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria quarto teste	44
Figura 41 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria quinto teste	44
Figura 42 – Comparação dos dados dos Smartphones	45

Lista de tabelas

Tabela 1 – Graus de correlação de Pearson	23
Tabela 2 – Cálculos com os dados dos Usuários	38
Tabela 3 – Cálculos com os dados das posições diferentes, primeira bateria	41
Tabela 4 – Cálculos com os dados das posições diferentes, segunda bateria	42
Tabela 5 – Cálculos dos dados dos Smartphones	45

Lista de abreviaturas e siglas

OMS	Organização Mundial de Saúde
QUT	Queensland University of Technology
IMU	Inertial Measurement Unit
MEMS	Micro Eletro Mechanical System
MAE	Mean Absolute Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Extensão Nórdica	14
2.2	Sistema Massa-Mola	15
2.3	Acelerômetro	16
2.4	Giroscópio	17
2.5	Sensores Inerciais	18
2.6	Docker	19
2.7	JavaScript	19
2.8	React Native	19
2.9	Expo	20
2.9.1	Acelerômetro e Giroscópio	20
2.9.1.1	Acelerações do Acelerômetro	21
2.9.1.2	Cálculo do Ângulo Alpha	21
2.9.1.3	Cálculo do Ângulo Beta	21
2.9.1.4	Cálculo do Ângulo Gamma	21
2.10	Python	22
2.11	Erro Médio Absoluto	22
2.12	Erro Percentual Absoluto Médio	22
2.13	Correlação de Pearson	23
3	METODOLOGIA	24
4	RESULTADOS	33
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS	48

1 Introdução

A saúde e desempenho dos atletas são questões de grande importância no cenário esportivo contemporâneo. Um dos principais desafios enfrentados por profissionais educadores físicos é a prevenção e reabilitação de lesões, que podem afetar significativamente a carreira esportiva dos indivíduos. Durante o século XXI, o tema das lesões esportivas tornou-se uma preocupação crescente, despertando a atenção para a necessidade de estratégias eficazes que promovam a saúde e o bem-estar dos atletas.

Nesse contexto, uma das lesões mais frequentes e problemáticas são aquelas relacionadas aos músculos isquiotibiais, localizados na região posterior da coxa. Lesões nessa região são amplamente observadas em atletas de diferentes modalidades esportivas, incluindo futebol, corrida, basquete e outros esportes que exigem movimentos explosivos e mudanças rápidas de direção. A lesão dos isquiotibiais pode variar desde pequenas distensões até rupturas musculares completas, afetando não apenas o desempenho esportivo, mas também a qualidade de vida do atleta.

A complexidade e gravidade dessas lesões reforçam a importância de avaliações precisas e estratégias de prevenção eficazes. Compreender a força e função dos músculos isquiotibiais é fundamental para identificar atletas com maior risco de lesões e implementar intervenções apropriadas para reduzir a ocorrência desses eventos indesejados.

Dentre as várias abordagens utilizadas na avaliação da força dos isquiotibiais, o exercício de flexão nórdica tem se destacado como uma ferramenta valiosa para a identificação da força excêntrica desses músculos. A flexão nórdica é um teste que avalia a resistência excêntrica dos isquiotibiais durante a extensão gradual do joelho, até o ponto em que o indivíduo não consegue mais sustentar o peso do corpo e cede à força da gravidade. Estudos têm demonstrado a eficácia da flexão nórdica na prevenção e reabilitação de lesões dos isquiotibiais em atletas (OPAR et al., 2015).

Contudo, a realização dessa avaliação em larga escala tem sido limitada pela disponibilidade de equipamentos específicos, como o NordBord, que mede diretamente a força isquiotibial e é compatível com smartphones (OPAR et al., 2013). No entanto, o alto custo de exportação desse equipamento tem dificultado sua comercialização no Brasil, tornando-o inacessível para muitos profissionais e atletas.

Diante dessa realidade, alternativas para a avaliação indireta da força muscular têm sido investigadas, com foco em soluções mais acessíveis e práticas. Uma abordagem promissora é a utilização da análise de vídeo em conjunto com softwares específicos, como o Kinovea. Essa metodologia permite estimar o ângulo de quebra durante o teste de flexão nórdica e tem se mostrado eficiente em estudos científicos (LEE et al., 2017). No entanto, essa abordagem ainda requer maior interação do usuário e pode estar sujeita a erros humanos.

Uma solução inovadora para superar essas limitações está relacionada ao uso de sensores inerciais (IMU) presentes em smartphones e outros dispositivos eletrônicos modernos. Esses sensores são capazes de medir os ângulos e a posição do dispositivo em relação ao ambiente, o que possibilita a criação de um sistema mais prático e menos suscetível a erros para estimar o ângulo de quebra durante o teste de flexão nórdica (LEE et al., 2018).

Com base nessa perspectiva, o presente trabalho tem como **objetivo geral** desenvolver um aplicativo para smartphones que utilize sensores inerciais para a avaliação da força excêntrica dos músculos isquiotibiais. Os **objetivos específicos** incluem a criação de um aplicativo de fácil utilização, a otimização e acessibilidade na coleta de dados e a comprovação da equivalência dos dados obtidos em relação ao software Kinovea.

A implementação bem-sucedida dessa abordagem poderá fornecer uma solução viável para a avaliação da força muscular em atletas, com potencial para realização remota e em larga escala. Além disso, esse avanço tecnológico tem o potencial de contribuir significativamente para a prevenção de lesões esportivas, o aprimoramento do desempenho atlético e, conseqüentemente, para a promoção da saúde e bem-estar dos atletas.

2 Fundamentação Teórica

Como dito anteriormente, a extensão nórdico tem sido de grande auxílio para prevenir lesões nos músculos isquiotibiais, sendo que nesse exercício tem como mensurar a força e o ângulo para entender melhor a saúde do músculo, pois como as lesões nessa região são variados, os tempos de recuperação também sofrem alteração, assim como foi dito pelos os trabalhos (OPAR et al., 2013), (LEE et al., 2017) e (LEE et al., 2018).

Ao realizar as medições regulares do músculo, durante o exercício, consegue fornecer um melhor entendimento sobre as condições do atleta aos profissionais de saúde.

Na realização do teste de mensurar a força é necessário sensores como dinamômetro e uma estrutura física juntamente com o atleta para conseguir obter os dados, esse tipo de equipamento tem a medida de erro com a melhor precisão. No entanto, os equipamentos disponíveis atualmente são inviáveis de comercialização em massa devido ao seu alto custo, em vista disso existe a possibilidade de ser construído de forma particular o equipamento, necessitando de calibração dos sensores periodicamente para que haja uma redução do erro absoluto em relação as medidas adquiridas.

Para mensurar o ângulo, essa coleta poderia ser feitas de duas abordagens, usando o video ou o IMU.

Na utilização do vídeo, é colocado no usuário três marcações (joelho, tornozelo e cintura) para fazer os pontos necessárias para o cálculo do ângulo. Necessitando de utilização de um software para produzir a análise do vídeo e produzir a coleta de dados dos ângulos durante a execução do exercício proposto.

O método de captura de ângulo também pode ser feito através do uso de IMU, sendo utilizado preso a lombar coletando os dados dos ângulos que posteriormente é tratado fornecendo a angulação durante o exercício.

O objetivo da pesquisa foi criar um aplicativo mobile para a análise da extensão nórdica usando os sensores inercias do celular, primeiro é necessário o conhecimento das ferramentas usadas e suas respectivas funções para concretizar o objetivo do projeto.

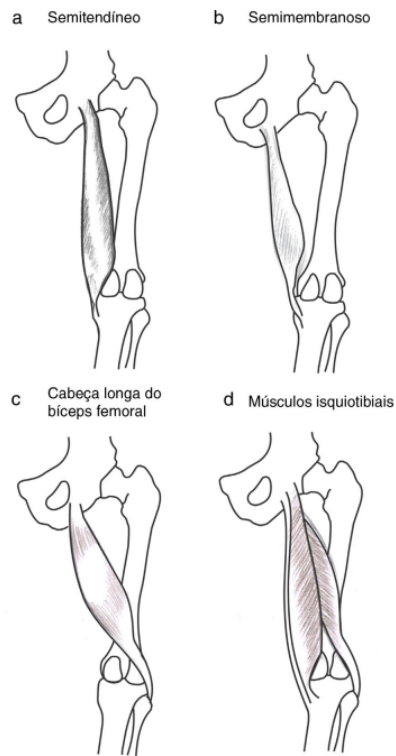
Após a realização dessa etapa, haverá uma comparação entre os dados obtidos com o programa de validação, através dos erros absoluto e percentual absoluto médio, para fins de comprovação da relação dos dados obtidos pelo aplicativo com os dados de avaliação do mesmo.

Como explanado a seguir, os matérias de referência para o avanço do projeto.

2.1 Extensão Nórdica

A Extensão Nórdica consiste da contração do músculo isquiotibial, mas conhecido como músculo posteriores da coxa.

Figura 1 – Músculo Isquiotibial



Fonte: Revista Brasileira de Ortopedia

Este exercício tem como objetivo colocar o usuário de joelhos no chão, ou em uma superfície, com os tornozelos fixos e o tronco formando um ângulo de 90° referente as canelas.

Figura 2 – Angulação 90°



Fonte: Revista Brasileira de Ortopedia

Ao iniciar o movimento de queda para frente, o usuário irá forçar para desacelerar a queda e ao chegar ao solo, ou superfície, tentará se erguer apenas usando os músculos isquiotibiais.

Figura 3 – Angulação queda



Fonte: Revista Brasileira de Ortopedia

O movimento de levantar-se apenas usando os músculos isquiotibiais requer muita força e elasticidade do músculo, por esse motivo só é indicado que o usuário somente realize o movimento perante um acompanhamento médico e/ou outros profissionais da área da saúde, assim como também os educadores físico como por exemplo o personal trainer.

2.2 Sistema Massa-Mola

Segundo as descobertas de Newton o mundo tem três leis fundamentais.

A 1ª lei de Newton, um corpo em estado inercial tende a permanecer nesse estado até que haja uma força sobre ele, pode ser interpretado da seguinte maneira, o corpo não se move sem alguma força sendo exercida nele.

A 2ª lei de Newton diz que a força é derivada da massa vezes a aceleração, o que nos fornece a fórmula

$$F = m.a$$

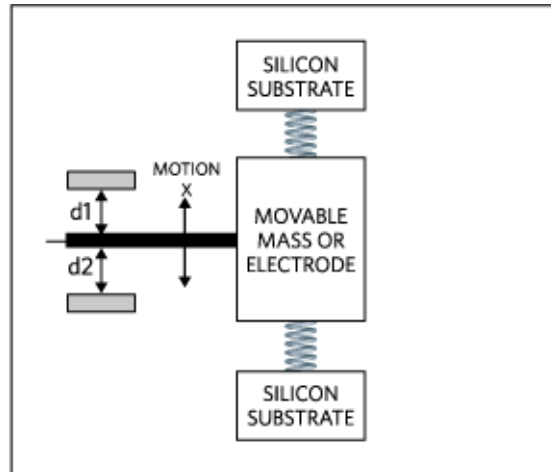
A 3ª lei de Newton fornece a seguinte frase "Toda ação gera uma reação", fazendo referência que toda força exercida resulta em uma força igual de sentidos opostos.

Essas leis foram utilizadas para muitas aplicações no mundo moderno justamente para entender as forças que estão sendo exercidas em algum corpo, um exemplo do uso dessas leis, foi a descoberta do sistema massa-mola. O sistema massa-mola é um oscilador harmônico que tem um movimento periódico e oscilatório, sendo que quando a massa é deslocado o sistema faz essa massa dissipar a força ao realizar os movimentos de contração e expansão da mola até que atinga o equilíbrio que estava anteriormente. Componentes como acelerômetros e giroscópio que são usados na composição do IMU, utilizam esses conhecimentos para realizar a capturas da aceleração linear e a velocidade angular.

2.3 Acelerômetro

No artigo (TORRES, H. L. F., 2014b), o acelerômetro tem como finalidade medir a aceleração linear do eixo referente. Segundo (TORRES, H. L. F., 2015) o funcionamento desse sistema consiste basicamente, uma massa de prova de silício é suspensa e suportada por molas, também de silício, conferindo a esta massa uma mobilidade conhecida.

Figura 4 – Acelerômetro por dentro



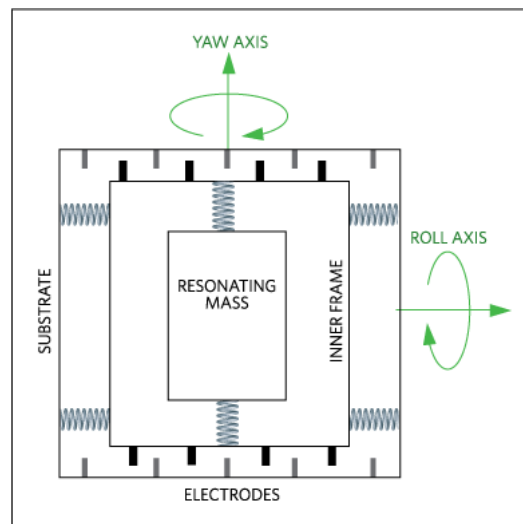
Fonte: Internet

Quando o sistema é fixado e alguma força é aplicada, as molas tem suas capacitâncias alteradas tendo referência a posição inicial. Cabe ao sistema tratar essas diferenças de capacitâncias, transmitindo as informações tratadas.

2.4 Giroscópio

O giroscópio tem como objetivo medir a velocidade angular (TORRES, H. L. F., 2014b). Tendo o funcionamento similar ao acelerômetro, (TORRES, H. L. F., 2015) descreve que "A principal diferença é que a velocidade angular é obtida medindo-se a força Coriolis exercida na massa vibrante, ou seja, o movimento do corpo de prova deve possuir, pelo menos, dois graus de liberdade". Significa que, no mínimo, dois eixos ficam livres para conseguir realizar o movimento de rotação, por conta disso a sua construção é feita com um sistema de molas a 90° em cada um dos eixos para conseguir, diferente do acelerômetro que só tem o sistema de mola em apenas um dos eixos.

Figura 5 – Giroscópio por dentro

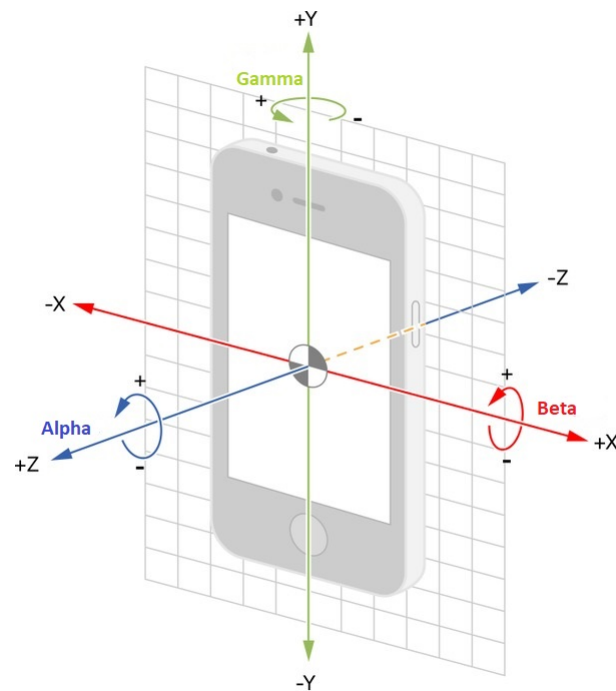


Fonte: Internet

2.5 Sensores Inerciais

Sensores Inerciais, Inertial Measurement Unit (IMU), são aqueles que conseguem capturar a ação de qualquer força sobre um sistema que está inicialmente no seu estado de inércia. Sendo eles constituídos pela tecnologia Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), sistemas microeletromecânicos segundo (TORRES, H. L. F., 2014a). São compostos geralmente de giroscópios e acelerômetros, justamente para analisar os dados referentes aos eixos x, y e z.

Figura 6 – Direções de referência do celular



Os sensores inerciais estão presentes na maioria dos smartphones pois algumas funcionalidades nativas dos sistemas operacionais necessitam para se comunicar com outras tecnologias presentes nos dispositivos. Como podemos observar na utilização de localização de GPS e na sensibilidade da movimentação de tela ao realizarmos alteração de posição do celular, por exemplos.

2.6 Docker

Docker é uma ferramenta de código aberto que foi criado para auxiliar desenvolvedores a padronizarem o ambiente de desenvolvimento no qual estão atuando, sendo uma das ferramentas mais usadas no mundo do desenvolvimento de softwares.

Sendo responsável pela criação de imagens, que forma uma sequência de passos para se criar uma máquina base na qual se deriva o container. O container é como uma máquina virtual aonde irá implementar o desenvolvimento, sendo leve e rápido já que compartilha o sistema operacional entre os containers.

2.7 JavaScript

JavaScript segundo ([MOZILLA, 2022](#)), JavaScript® (às vezes abreviado para JS) é uma linguagem leve, interpretada e baseada em objetos com funções de primeira classe, mais conhecida como a linguagem de script para páginas Web, mas usada também em vários outros ambientes sem browser, tais como node.js, Apache CouchDB e Adobe Acrobat.

O JavaScript é uma linguagem baseada em protótipos, multi-paradigma e dinâmica, suportando estilos de orientação a objetos, imperativos e declarativos (como por exemplo a programação funcional).

Essa linguagem originou várias ramificações e framework para conseguirem trabalhar da melhor forma possível de acordo com cenário do desenvolvedor.

2.8 React Native

Segundo ([ALURA, 2023](#)), o React Native foi lançado em 2015 pelo Facebook como um projeto de código aberto, é uma estrutura de aplicativo móvel popular, baseada na linguagem JavaScript, que permite criar aplicativos móveis renderizados nativamente para iOS e Android.

A estrutura permite criar um aplicativo para várias plataformas usando a mesma base de código. Esse framework é usado por várias empresas pelo fato de poder usar o mesmo projeto em várias plataformas, não sendo mais necessário criar novos códigos para cada plataforma.

2.9 Expo

Como diz (ALURA, 2021), o Expo é uma ferramenta que facilita no desenvolvimento de aplicativos mobile com React Native, já que ele abstrai todas as partes complexas de configuração do ambiente e permitindo ao usuário acesso rápido e fácil a várias APIs nativas.

Com o Expo, é possível usar a API de câmera e notificações, por exemplo, sem muita dificuldade, já que não se faz necessário a realização de nenhuma configuração de API. Além disso, é possível programar para iOS sem precisar de um macOS, apenas um dispositivo físico com iOS.

Isso tudo é possível porque a Expo disponibiliza um aplicativo móvel, que pode ser baixado pelas lojas da Play Store ou Apple Store, que já contém todo o código nativo para iniciar a aplicação React Native.

Com essas facilidades, o programador só precisa basicamente se preocupar com o código JavaScript, sem ter que instalar SDK do Android ou Xcode para iOS. Dessa forma, em poucos minutos já é possível ver uma aplicação rodando diretamente no celular ou em um emulador ou simulador.

Quando se utiliza a API do DeviceMotion do Expo para estimar os ângulos de orientação do dispositivo, alguns termos são essenciais para compreender o processo de cálculo. Abaixo estão as explicações para os principais termos utilizados:

2.9.1 Acelerômetro e Giroscópio

Como dito anteriormente, o acelerômetro é um sensor que mede a aceleração linear em relação aos três eixos do dispositivo: x, y e z. Essas acelerações são causadas pelos movimentos lineares do dispositivo e pela força da gravidade.

O giroscópio, por outro lado, é um sensor que mede as taxas angulares de rotação em torno dos mesmos três eixos: x, y e z. Ele fornece informações sobre as velocidades angulares que podem ocorrer quando o dispositivo é rotacionado.

2.9.1.1 Acelerações do Acelerômetro

No contexto dos cálculos dos ângulos, utilizamos três componentes do acelerômetro: *accelerometerX*, *accelerometerY* e *accelerometerZ*. Cada um desses termos representa a aceleração linear ao longo dos eixos x, y e z, respectivamente.

2.9.1.2 Cálculo do Ângulo Alpha

O ângulo Alpha representa a rotação em torno do eixo x do dispositivo. Ele é estimado utilizando a função trigonométrica $atan2(y, x)$ com base nos valores do acelerômetro. O cálculo é realizado da seguinte forma:

$$Alpha = atan2(accelerometerY, accelerometerZ)$$

Onde *accelerometerY* é a aceleração ao longo do eixo y do acelerômetro, e *accelerometerZ* é a aceleração ao longo do eixo z do acelerômetro.

2.9.1.3 Cálculo do Ângulo Beta

O ângulo Beta representa a rotação em torno do eixo y do dispositivo. Ele também é estimado com base nos valores do acelerômetro. O cálculo é realizado pela fórmula trigonométrica:

$$Beta = atan2(-accelerometerX, \sqrt{accelerometerY^2 + accelerometerZ^2})$$

Onde *accelerometerX* é a aceleração ao longo do eixo x do acelerômetro, e *accelerometerY* e *accelerometerZ* são as acelerações ao longo dos eixos y e z, respectivamente.

2.9.1.4 Cálculo do Ângulo Gamma

O ângulo Gamma representa a rotação em torno do eixo z do dispositivo. Diferentemente dos ângulos Alpha e Beta, o ângulo gama é estimado diretamente a partir das leituras do giroscópio. O cálculo é feito da seguinte forma:

$$Gamma = gyroscopeZ \times timeElapsed$$

Onde *gyroscopeZ* é a taxa angular do giroscópio ao longo do eixo z, e *timeElapsed* é o tempo decorrido desde a última leitura do giroscópio.

2.10 Python

Segundo (AWS, 2023), o Python é uma linguagem de programação amplamente usada em aplicações da Web, desenvolvimento de software, ciência de dados e machine learning (ML).

Os desenvolvedores usam o Python devido a sua eficiência, a facilidade de manuseio e aprendizagem e por sua diversificação de execução nas diferentes plataformas. O software Python pode ser baixado gratuitamente, integra-se bem a todos os tipos de sistema e agiliza o desenvolvimento.

Sendo a linguagem usada para a análise de um grande volume de dados, pois, como dito anteriormente, é de fácil uso e com poucas linhas de código já consegue realizar diversas tarefas.

2.11 Erro Médio Absoluto

O erro médio absoluto, Mean Absolte Error (MAE), mostra o erro da diferença média entre os dados ideal e o capitado. O mesmo é usado para medir a variação entre duas amostras com seus valores absolutos, contornando problemas com os valores negativos dentro das amostras.

Sendo a sua fórmula

$$MAE(y, \hat{y}) = \frac{1}{n_{amostras}} \sum_{i=0}^{n_{amostras}-1} |y_i - \hat{y}_i|.$$

2.12 Erro Percentual Absoluto Médio

O erro percentual absoluto médio, Mean Absolte Percentage Error (MAPE), mostra o erro percentual do MAE sobre um dos vetores de dados. Nessa fica mais intuitiva a comparação das amostras.

Sendo a sua fórmula

$$MAPE(y, \hat{y}) = \frac{1}{n_{amostras}} \sum_{i=0}^{n_{amostras}-1} \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{\max(\epsilon, |y_i|)}$$

2.13 Correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson está relacionando dois tipos de dados, o ideal (resultado esperado para análise) e o suposto (o resultado obtido durante análise), para obter o nível de confiança de que esses dados estão aderentes.

Sendo a sua fórmula

$$\rho = \frac{\Sigma(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x - \bar{x})^2(y - \bar{y})^2}}$$

O coeficiente consegue informar qual é o grau de correlação de acordo com as regras apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Graus de correlação de Pearson

Perfeito	$\rho = 1$
Alto	$0.50 \leq \rho < 1$
Moderado	$0.30 \leq \rho < 0.50$
Baixo	$\rho < 0.30$
Sem correlação	$\rho = 0$

3 Metodologia

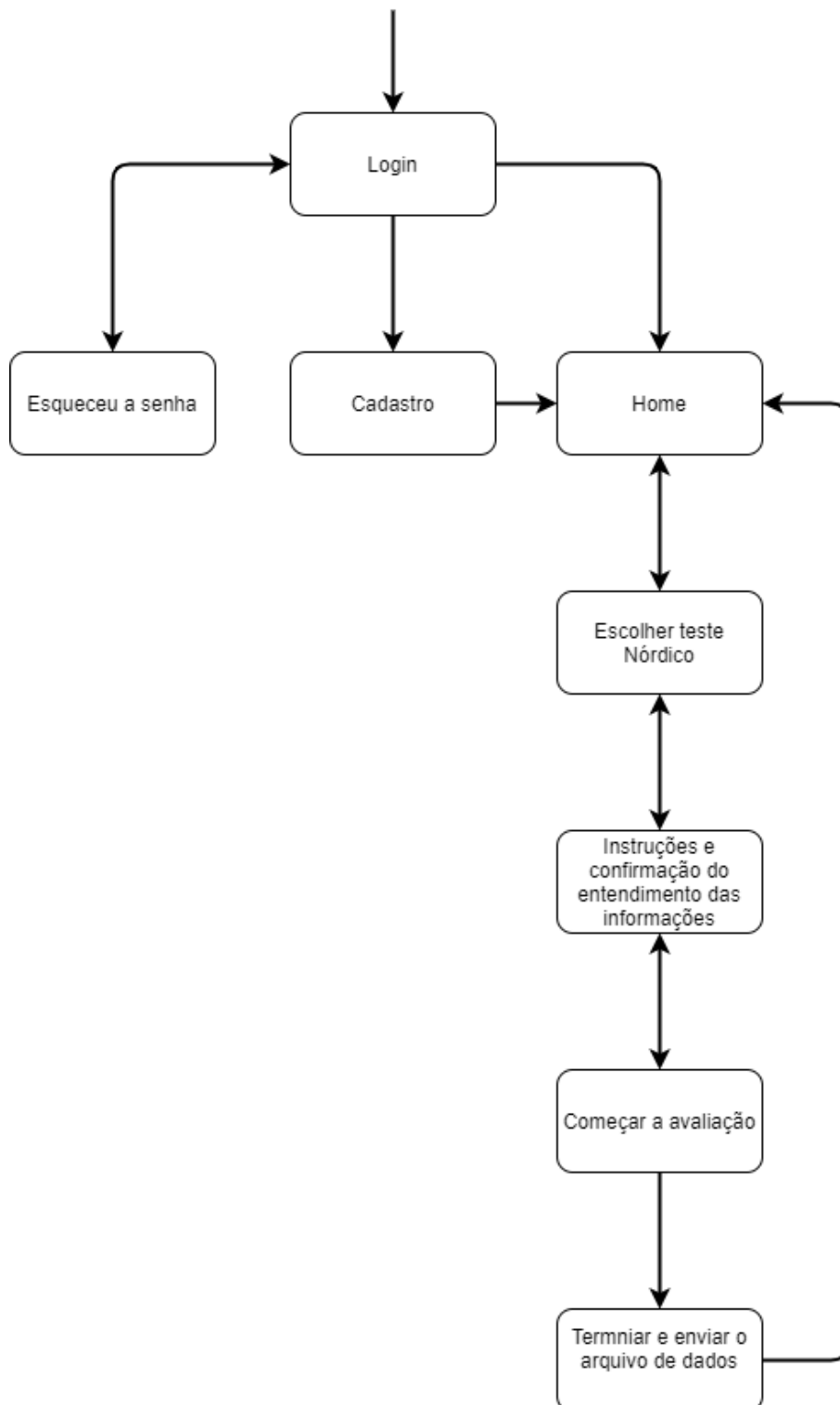
O projeto foi realizado levando em referência ao desenvolvido no (LEE et al., 2018), logo obteve-se uma análise mais assertiva sobre o algoritmo a ser usado.

Realizado a captura dados transmitidos, pelo processamento de sinais dos sensores inerciais, com o objetivo de adquirir o ângulo de quebra. O ângulo de quebra é o ângulo máximo que o usuário consegue manter a força de contração nos músculos isquiotibiais.

Mantendo o foco na usabilidade popular do aplicativo nos aparelhos móveis, o Nórdico está sendo desenvolvido na linguagem JavaScript com o framework React Native usando a ferramenta Expo, que tem a finalidade de converter o código para ser usado em sistemas operacionais Android e iOS, sendo capaz de emular um ambiente de desenvolvimento local possibilitando testes de maneira fácil e prático tanto na obtenção de dados quanto na funcionalidade do mesmo para usuários e profissionais da área da saúde.

Figura 7 – Roteiro do aplicativo

Primeira Página ao abrir o aplicativo



A Figura 7 demonstra o funcionamento do aplicativo de forma a seguir um padrão simples e eficaz, ainda em desenvolvimento afim de aprimorar e adicionar novas funções, conforme necessidades de dados adicionais ou de atualizações.

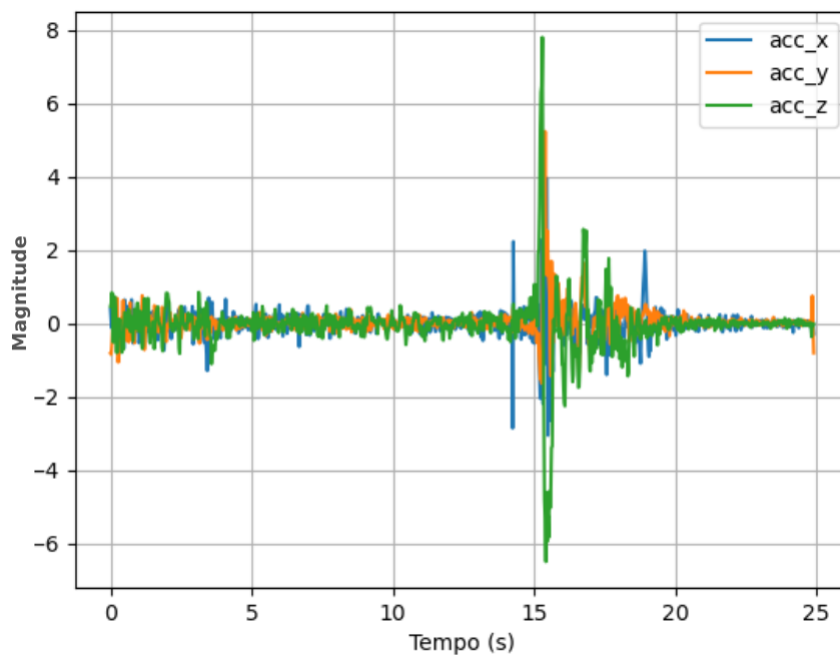
Tendo como passo a passo: primeiro o cadastro, em seguida os dados para o login, o aplicativo salva e abre automaticamente no perfil. Para a realização da trocar de perfil basta fazer o Logout e refazer todo o processo novamente.

O aplicativo inicialmente, funciona como descrito na Figura 7, na página Home tem a opção para escolha do Nordic Hamstring Curl, após selecionado segue para o a página de instrução, no formato de imagens para melhor visualização do usuário, para realizar de forma correta do teste e por fim começa a análise após aperta o botão.

Após a definição das páginas do aplicativo, realiza a coleta de dados dos ângulos, no intuito de constatar o sensor a ser usado, como referência na análise do ângulo de quebra do usuário.

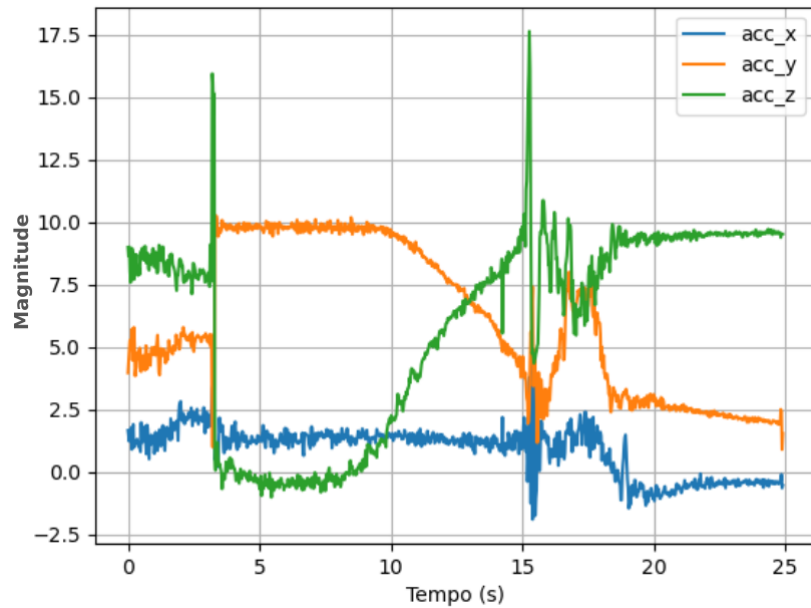
Os dados a seguir foram retirados utilizando um programa base na mesma linguagem de programação na qual o aplicativo foi desenvolvido.

Figura 8 – Medindo a aceleração nos eixos



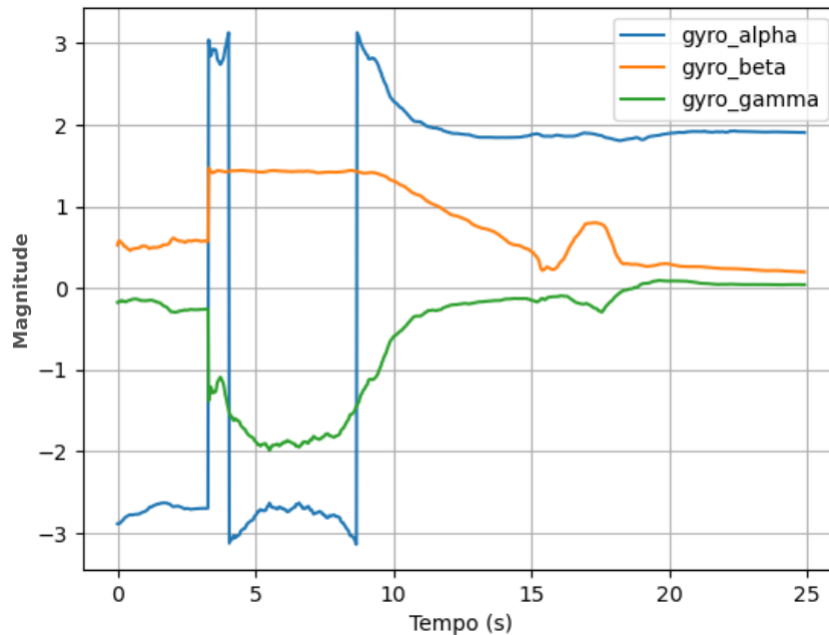
Na Figura 8 tem nas cores azul, laranja e verde o gráfico da contendo os eixos X, Y e Z, respectivamente, no eixo do tempo. Os dados foram coletados da aceleração em um teste prévio, sem intervenções externas.

Figura 9 – Medindo a aceleração com a gravidade da Terra nos eixos



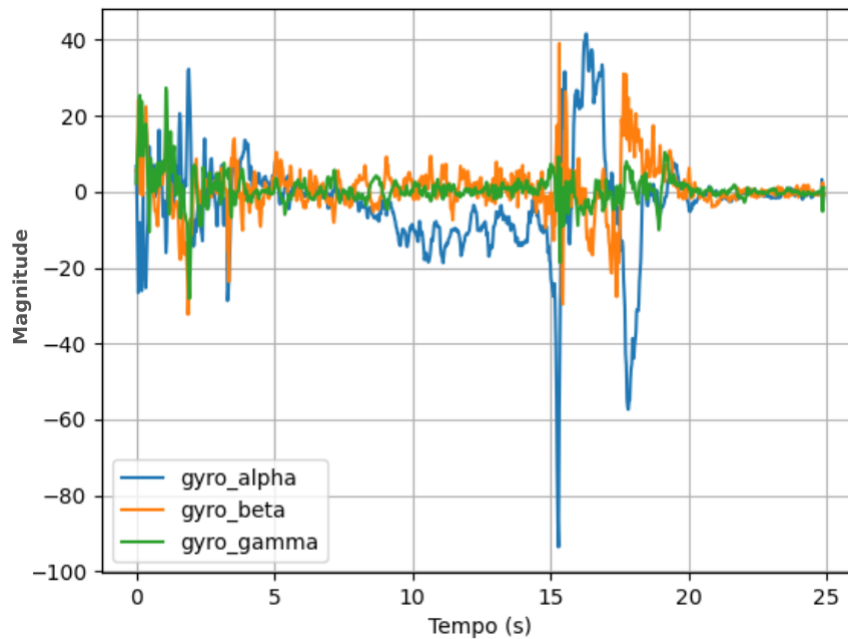
Na Figura 9 tem nas cores azul, laranja e verde o gráfico da contendo os eixos X, Y e Z, respectivamente, no eixo do tempo. Os dados foram coletados da aceleração em um teste prévio, tendo a gravidade da Terra embutida.

Figura 10 – Medindo os ângulos nos eixos



Na Figura 10 tem nas cores azul, laranja e verde o gráfico da contendo os ângulos Alpha, Beta e Gamma, respectivamente, no eixo do tempo. Os dados foram coletados dos ângulos em um teste prévio. O Alpha corresponde ao ângulo em torno do eixo Z, o Beta em relação ao eixo X e por fim o Gamma ao eixo Y.

Figura 11 – Taxa dos ângulos medidos pelo sensor giroscópio



Na Figura 11 tem nas cores azul, laranja e verde o gráfico da contendo as taxas dos ângulos Alpha, Beta e Gamma, respectivamente, no eixo do tempo. Os dados foram coletados dos ângulos em um teste prévio.

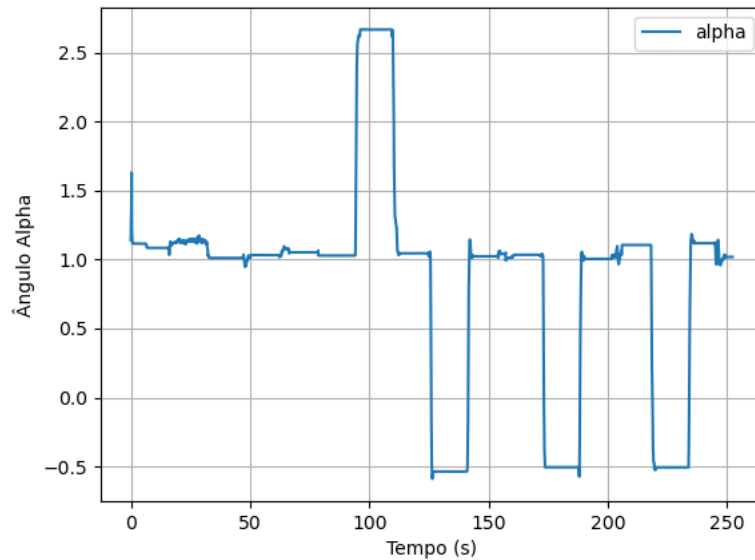
As Figuras 8, 9, 10 e 11 são resultados de um teste de angulação do smartphone nos eixos X, Y e Z, durante movimentos rotacionais para a validação de estímulos em cada eixo.

Já a imagem da Figura 6 faz referência aos ângulos de um smartphone.

Dependo da posição de referência do usuário, os eixos X e Z pode conter o ângulo de quebra, pois o smartphone poderia ser usado na vertical ou na horizontal.

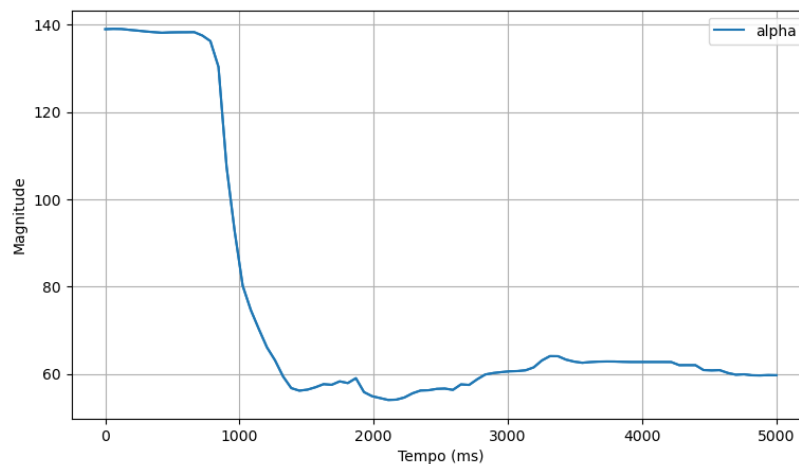
Durante a realização de testes no ângulo Alpha, em radianos, como mostra a Figura 12, os dados coletados não condiziam com o teste realizado, por esse motivo foi realizado dois tipos de teste para a validação do seu funcionamento.

Figura 12 – Ângulo Alpha coletado



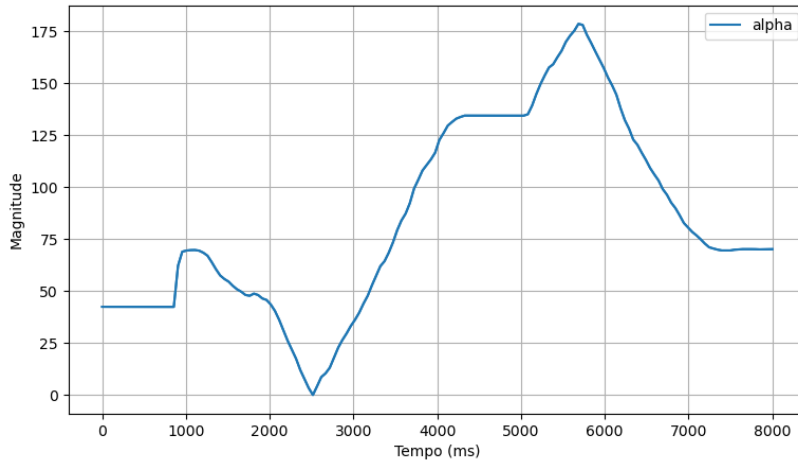
Na Figura 13, foi posto o smartphone na posição vertical e virando lateralmente até encostar os botões laterais na superfície, para analisar os dados recebidos. Durante esse teste a mudança de ângulo, em graus, não correspondia a amplitude do movimento, tendo o ângulo com pouca alteração em vista da variação feita.

Figura 13 – Ângulo Alpha coletado na posição pretendida



No entanto na Figura 14, o smartphone foi posto com a câmera traseira em cima da superfície e fazendo os movimentos de rotação com o smartphone deitado, nesta coleta os ângulos, em graus, estavam respondendo bem aos estímulos feitos ao longo do eixo Z.

Figura 14 – Ângulo Alpha coletado na posição ideal do sensor



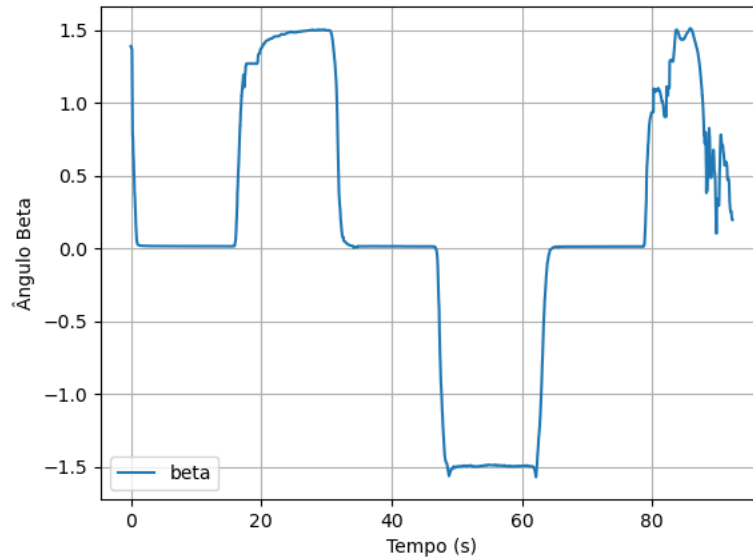
Quando o dispositivo está em pé (orientação retrato), o ângulo Alpha pode não ser tão confiável, pois o giroscópio mede as taxas angulares de rotação (ANDREWS; GREWAL, 2015). Ao integrar essas taxas, pequenos erros acumulados podem levar a valores arbitrários do ângulo Alpha.

Isso é conhecido como "drift" do giroscópio (EXPO, 2023), deixando os dados inválidos para testes, pois assim não pode determinar fielmente aonde é o ângulo de quebra do usuário, acarretando no motivo no qual levou o uso do eixo Y para coleta do ângulo de quebra.

Em contraste, quando o dispositivo está deitado (orientação paisagem), o ângulo Alpha é mais estável porque a rotação principal ocorre em torno do eixo Z, que é o eixo deitado. Isso permite que o giroscópio registre as rotações de forma mais precisa.

Através dos dados coletados no eixo X, foi obtido o gráfico da Figura 15.

Figura 15 – Ângulo Beta coletado

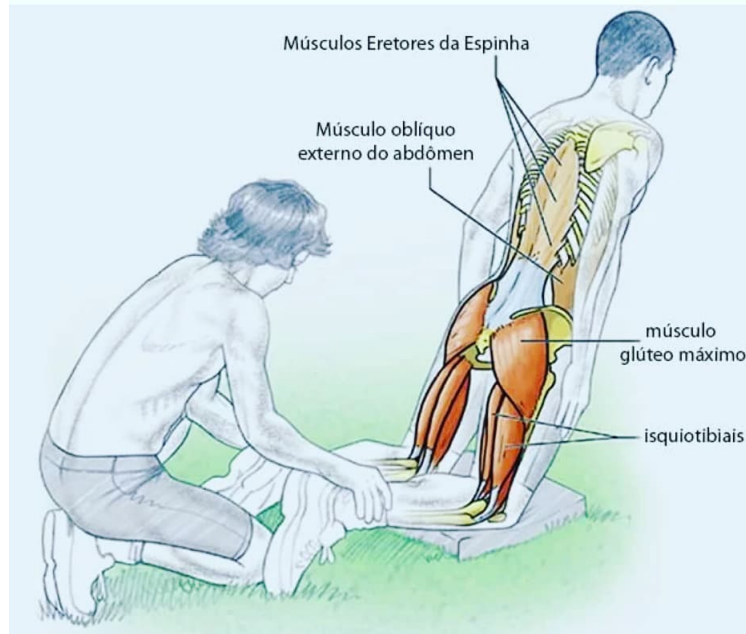


No teste da Figura 15, o smartphone foi colocado inicialmente em 90° e foi alterando as posições no eixo X para obter os dados, para validar a captação e funcionamento do IMU.

O ângulo Beta foi a escolha utilizada como fonte dos dados do aplicativo, pois o sinal fornece o ângulo do smartphone tendo uma maior precisão, levando em consideração que o IMU utiliza o acelerômetro e o giroscópio que conseguem pegar como base a gravidade da Terra. Os mesmos são usados para fazer a correção dos dados e retirando os fatores que poderiam influenciar os mesmos como a aceleração da gravidade da Terra.

Com os dados da IMU coletando de forma correta, a posição do IMU foi definida de acordo com o ângulo quebra no qual foi proposto captar. Esse ângulo consiste no movimento do músculo isquiotibial que está localizado na parte interior da coxa como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Músculo Isquiotibial durante a Extensão Nórdica



Fonte: Internet

Ao notar a extensão que o músculo pode fazer, algumas áreas foram propostas para conseguir fixar o IMU de forma a coletar o ângulo, como exemplo: fixar na parte de trás da coxa, fixar na parte lateral da coxa, colocar no bolso do shorts e fixar na parte da lombar.

Ao colocar o smartphone no bolso do shorts foi observado alteração à depender do shorts pois quando os mesmo se encontram folgados no usuário, acabava dando uma liberdade para o smartphone movimentar-se, assim alterando os dados coletado.

Na posição fixado na lombar do usuário, fica com essa parte durante o movimento fica estática e não possui pontos para deslizar ou movimentas o smartphone livremente.

Na fixação das coxas são as posições mais promissoras pois estaria acompanhando o movimento praticamente colado ao músculo, com o smartphone pode ficar preso na lateral da coxa, praticamente no local do bolso mas sem liberdade de se movimentar e tem a posição de colocar o smartphone em cima do músculo isquiotibial, tendo a mesma referência e o mesmo movimento. Sendo os locais ideais para posicionar o IMU do smartphone para coletar o ângulo de quebra.

4 Resultados

No capítulo anterior determinou que através do giroscópio temos o ângulo beta, no qual é possível extrair o ângulo de quebra do usuário.

Após essa descoberta, foi desenvolvido as telas para o aplicativo de acordo com o roteiro da Figura 7 para iniciar os testes da coleta de dados.

Figura 17 – Criar

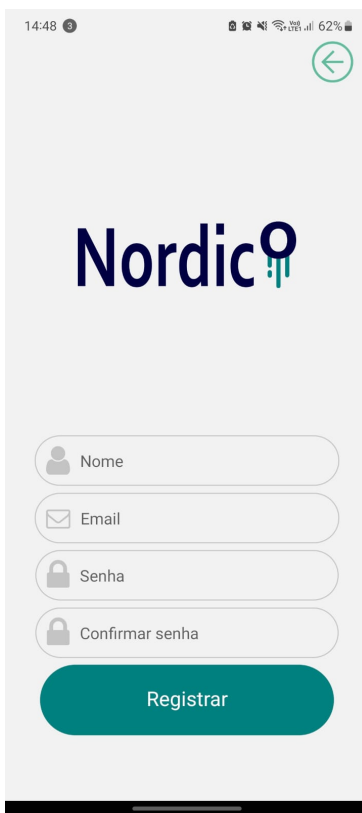


Figura 18 – Entrar

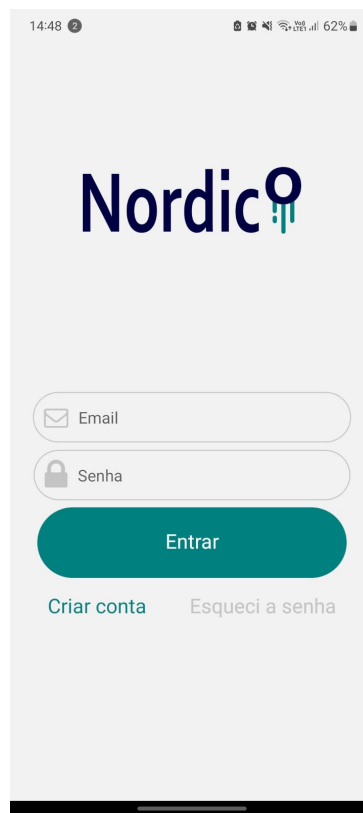
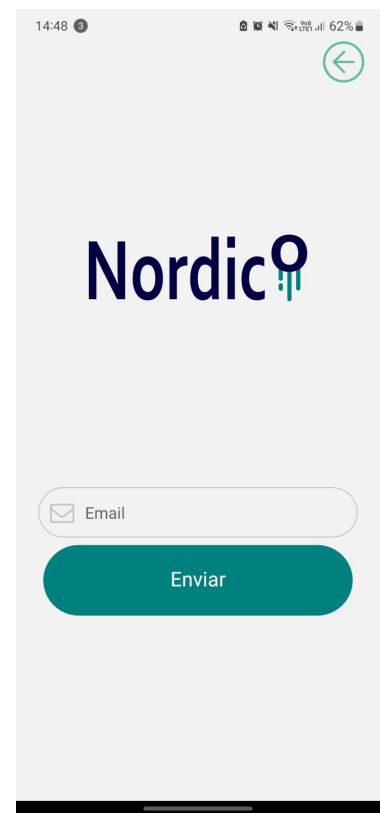


Figura 19 – Esqueceu



Nesse primeiro conjunto de imagens apresenta a parte de usuário, como o cadastro, entrada e a parte de esquecer a senha, mostrada nas Figuras 17, 18 e 19.

Figura 20 – Inicial

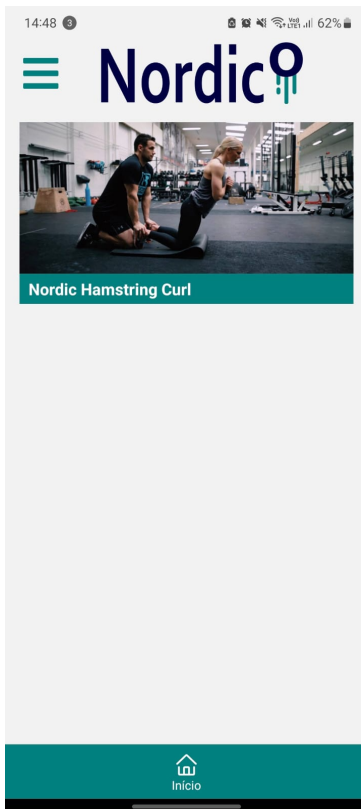
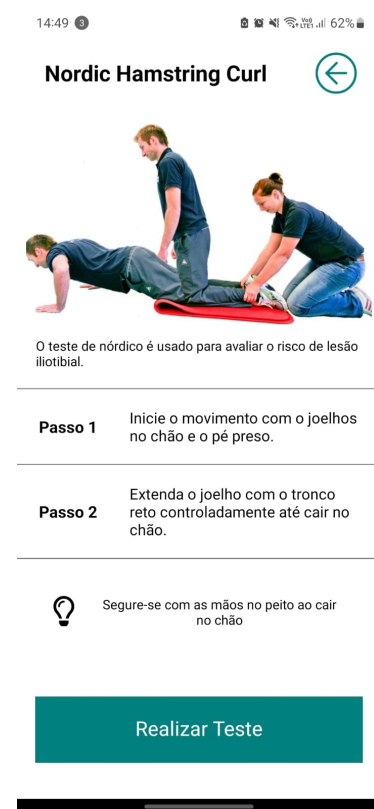


Figura 21 – Menu



Figura 22 – Instruções



Ao fazer a entrada do usuário, teremos a parte inicial do aplicativo contendo o menu lateral, como mostrado nas Figuras 20 e 21.

Com a escolha do exercício, tem as instruções com os passos para fazer o movimento de forma correta, como mostrado na Figura 22.

Figura 23 – Iniciar



Figura 24 – Durante

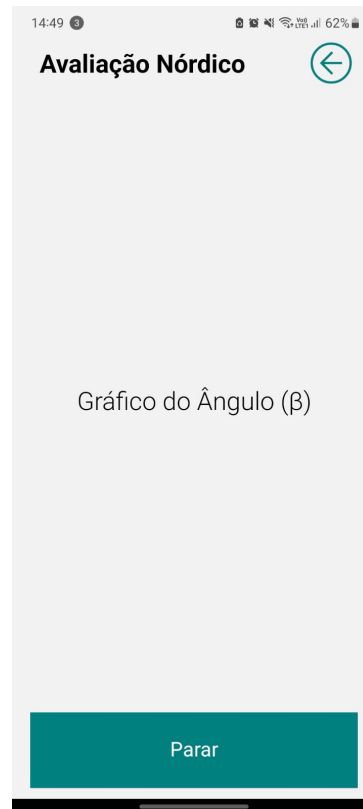


Figura 25 – Final



Após o passo a passo, acionar o botão para iniciar o exercício, ao precisar começa o processo de contagem regressiva para a realização do teste, deixando a tela apenas com o botão de parar.

Ao finalizar o teste, aparece o gráfico mostrando o ângulo de quebra, juntamente com o botão de compartilhamento dos dados.

Esse processo está representado pelas as Figuras 23, 24 e 25.

Com as telas prontas e a captura de dados feita corretamente, segue os testes com alguns usuários.

Foi realizado cinco testes para o usuário A e seis para o usuário V. No contexto de validar os dados recebidos do IMU do smartphone na posição presa na lombar, foi feito o uso do Kinovea, no caso atual, foi adotado o uso da captura do ângulo de quebra dos usuários.

Nesse procedimento experimental, o smartphone fica preso na região lombar da coluna por uma cinta de velcro ou um cinto. Com a coleta dos dados desse usuário serão enviados em um arquivo, no formato texto, para serem analisados por computador. Fazendo uso da linguagem Python na interpretação dos dados obtidos para fornecer uma estimativa do ângulo de referência.

Na realização do teste, começa com o usuário de joelho com o tronco em 90° colocando o smartphone na lombar, sendo segurada por uma cinta. Como mostra a Figura 26.

Figura 26 – Posição inicial do teste, com smartphone preso na lombar



No Kinovea o ângulo de quebra é obtido através da fixação de três pontos, na cintura, joelho e no pé. Visualizada na Figura 27.

Com auxílio de uma câmera, cada teste do IMU foi filmado. A seguir os dados coletados sobre o ângulo de quebra de cada teste da IMU do smartphone dos usuários, juntamente com o resultado do Kinovea.

Figura 27 – Posicionamento dos pontos para cálculo do ângulo de quebra



Figura 28 – Comparação ângulo de quebra do usuário A

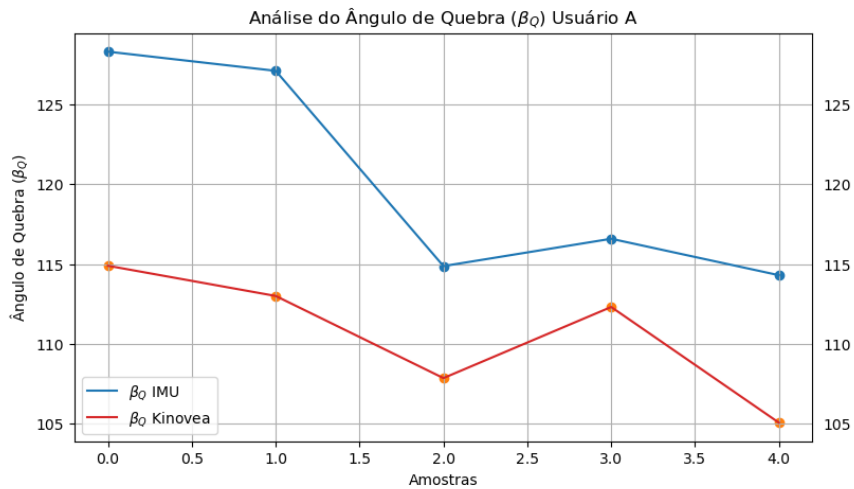
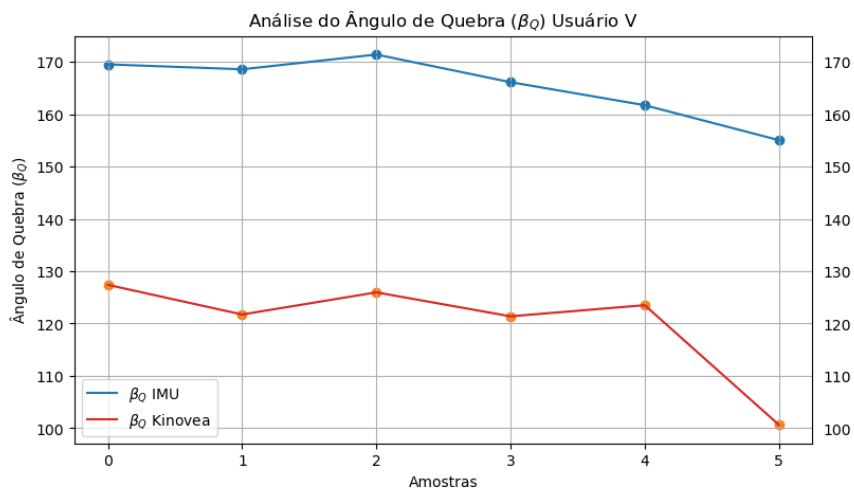


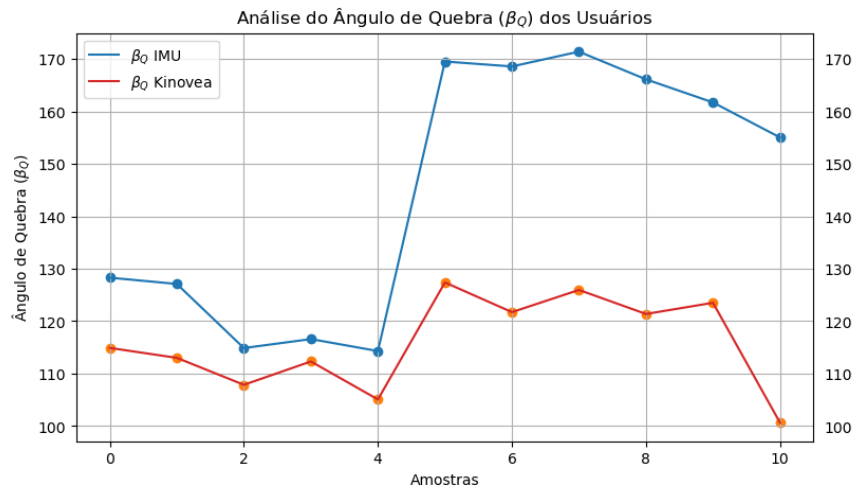
Figura 29 – Comparação ângulo de quebra do usuário V



As primeiras cinco amostras da Figura 28 são do usuário A e as outras seis amostras da Figura 29 do usuário V. Nestes gráficos mostram claramente que os resultados do usuário A tem valores mais aproximados em relação ao usuário V.

Para manter o teste com maior confiabilidade possível realidade, analisou-se os resultados do ângulo de quebra de cada, para determinar a confiabilidade dos dados obtidos.

Figura 30 – Comparação ângulo de quebra dos usuários



Juntando os resultados dos dois usuários obteve o gráfico da Figura 30. Observe a diferença de valores das amostras dos usuários.

Ao realizar as análises nos dados dos usuário, obtém a Tabela 2.

Tabela 2 – Cálculos com os dados dos Usuários

Cálculos	Usuário A	Usuário V
MAE	9.6	45.2933
MAPE(%)	7.8744	27.4676
PEARSON	0.8309	0.873

Depois dos testes feitos com o smartphone na posição fixada na lombar, foi feito os testes fixado a coxa, sendo posicionado na lateral da coxa e na parte aonde se encontra o músculo isquiotibial.

Nessa primeira bateria de testes, o mesmo usuário fez cinco coletas em cada posição do smartphone, totalizando dez coletas, como segue as Figuras 31 e 32.

Figura 31 – Posicionamento do smartphone na lateral da coxa



Para a captura dos dados pelo Kinovea foi posto as marcação como dito anteriormente ao falar da Figura 27, sendo feito da mesma forma a coleta.

Figura 32 – Posicionamento do smartphone na parte posterior da coxa



Ao analisar os dados obtidos do IMU do smartphone e no vídeo no Kinovea, obteve os seguintes gráficos para cada posição.

Como mostra as Figuras 33 e 34 os dados do smartphone na posição lateral e posição traseira tiveram alteração.

Figura 33 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, primeira bateria

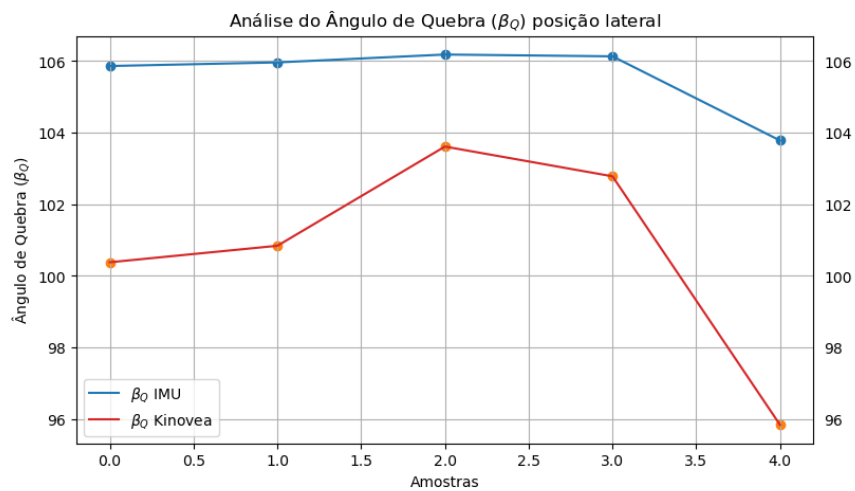
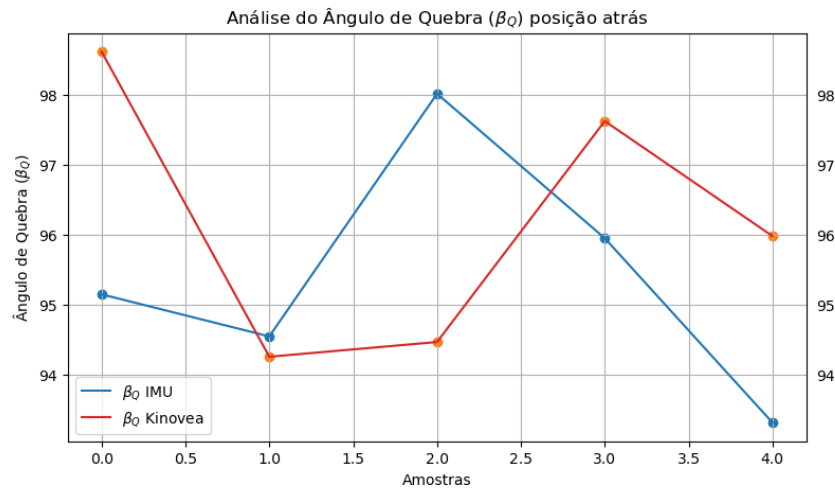


Figura 34 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição traseira, primeira bateria



Na posição lateral teve quase a mesma curva entre o IMU e o Kinovea, deixando ambos similares. Em contra partida na análise dos dados do smartphone na posição traseira, houve variações entre as curvas trassadas, contudo os dados estão com valores mais próximos que a posição anterior, como podemos observar nas Figuras e na Tabela 3.

Tabela 3 – Cálculos com os dados das posições diferentes, primeira bateria

Cálculos	Posição Lateral	Posição Posterior
MAE	4.892	2.324
MAPE(%)	4.6473	2.4292
PEARSON	0.945	-0.1668

A Tabela 3 aparecem dados interessantes, pois os dados que menos tiveram alteração pela MAE e MAPE foi quando o smartphone estava na parte posterior da coxa, entretanto a correlação Pearson apresentou um dado pequeno que torna a correlação dos dados desprezível. Com a análise dos dados da posição lateral, nota que a correlação de Pearson é de 0,945 tornando uma correlação forte, sendo que perfeita é de 1.

Foi realizados mais dez testes para ver como fica a variação dos erros absolutos (MAE e MAPE), pois na Tabela 3 essas métricas apresentaram números um pouco similares que poderia ser causado pela a interferência da roupa, já que o smartphone estava por cima de um short jeans que tem um material um pouco mais grosso em relação as vestimentas usadas para atividades físicas.

Nas Figuras 35 e 36 é possível notar que as curvas não estão parecidas com as Figuras 33 e 34 da bateria de testes anterior. Nessa bateria de testes foi colocado de forma que o smartphone ficasse por baixo do short, sendo fixado nas posições lateral e posterior da coxa obtendo os dados como demonstrado também na Tabela 4.

Figura 35 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria

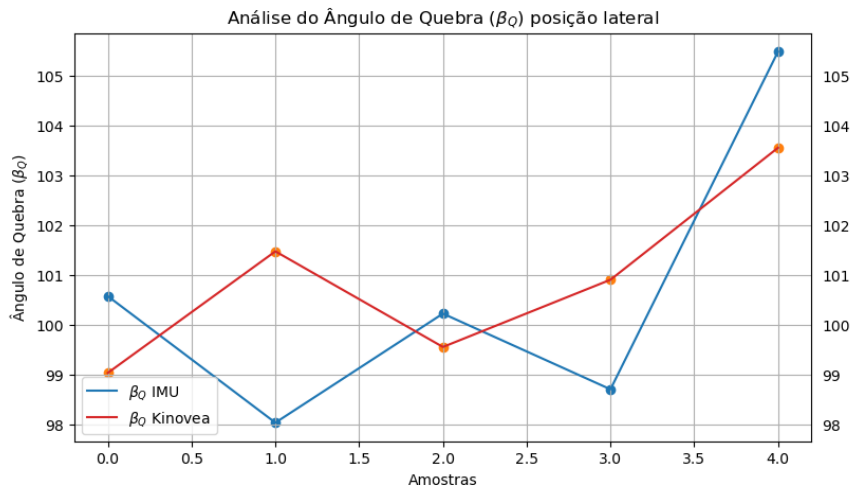


Figura 36 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição traseira, segunda bateria

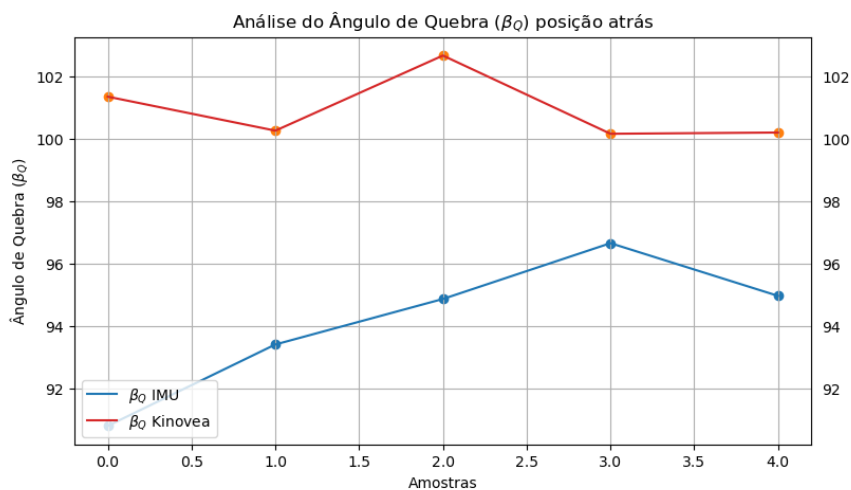


Tabela 4 – Cálculos com os dados das posições diferentes, segunda bateria

Cálculos	Posição Lateral	Posição Posterior
MAE	1.956	6.796
MAPE(%)	1.9533	7.271
PEARSON	0.5785	-0.2282

Com os dados acima é notável que a posição lateral do smartphone obteve os melhores resultados, em relação ao mesmo teste realizado na posição posterior do smartphone, tendo esse efeito pois como o smartphone estava em contato direto com a pele, não houve qualquer interferência de volume da roupa que poderia causar na mudança de ângulo como mostrado nas Figuras 35 e 36. Entretanto o valor da correlação de Pearson foi mais baixa que os testes anteriores pois como estava em contato direto com a pele, o smartphone tinha que ser reajustado a todo momento devido a falta de atrito da pele com o smartphone assim movimentava-o com mais facilidade.

É perceptível que a posição da posterior da coxa teve uma piora nos resultados, pois como a coxa tem um formato de um tronco, o smartphone ficava naturalmente inclinado, sendo que essa inclinação foi retirada no teste anterior pelo fato de estar usando um short que fazia volume.

As Figuras 37, 38, 39, 40 e 41 mostram o gráficos dos valores dos ângulos de quebra, com smartphone localizado na lateral da coxa, comparando o ângulo capturado pelo Kinovea e o do sensor IMU.

Figura 37 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria primeiro teste

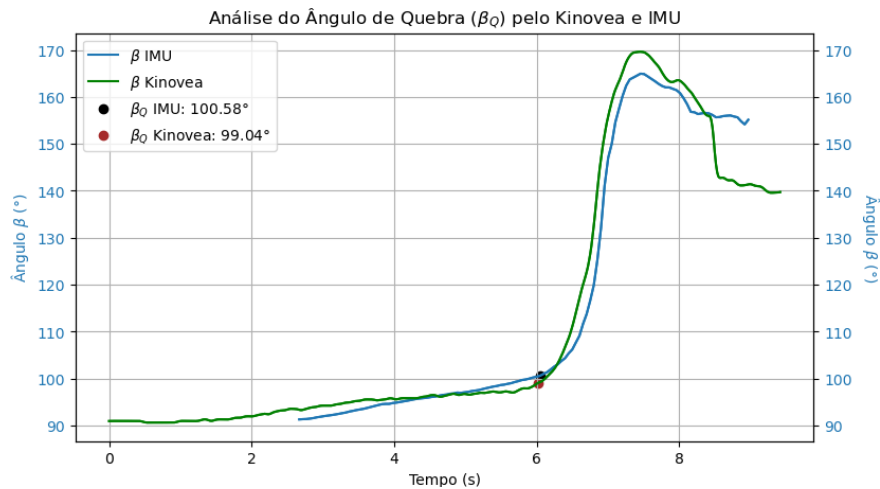


Figura 38 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria segundo teste

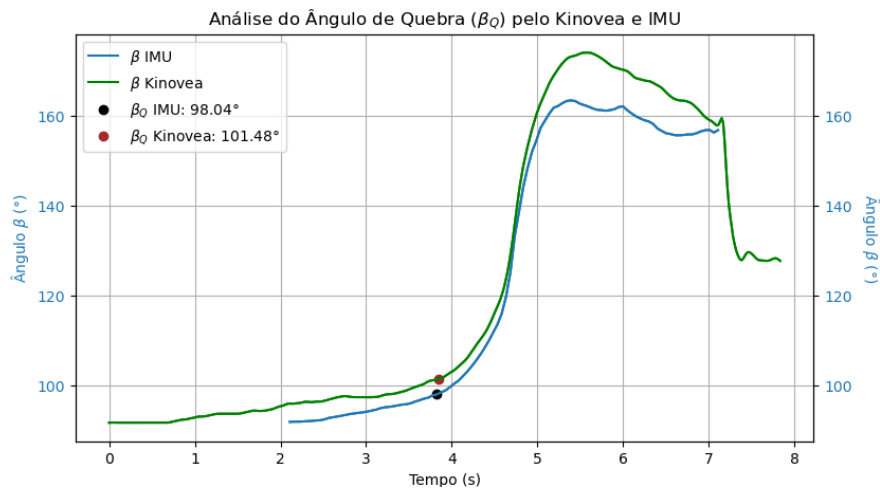


Figura 39 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria terceiro teste

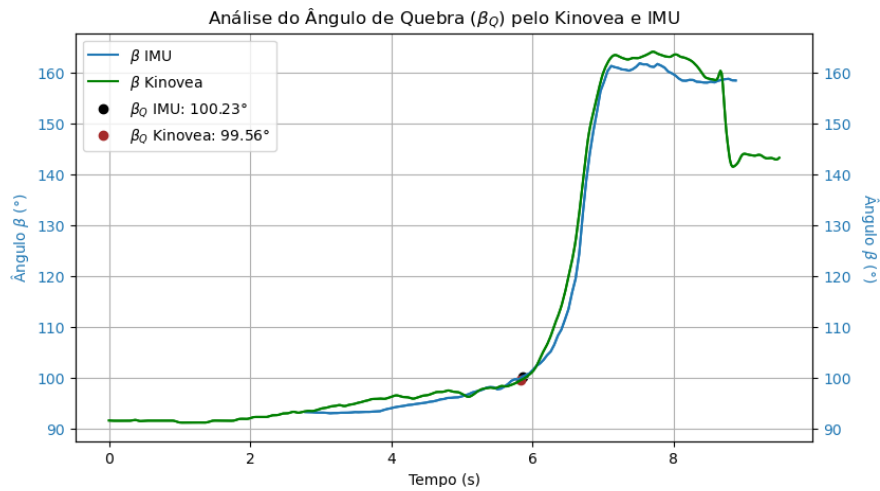


Figura 40 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria quarto teste

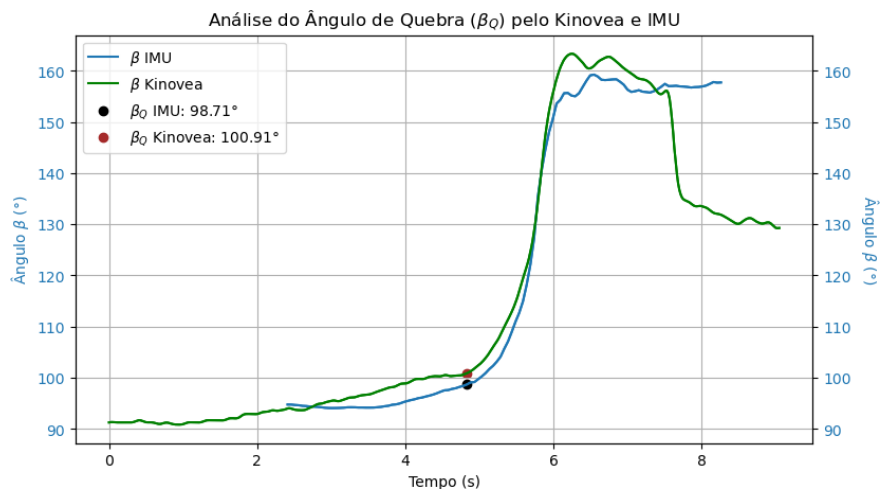
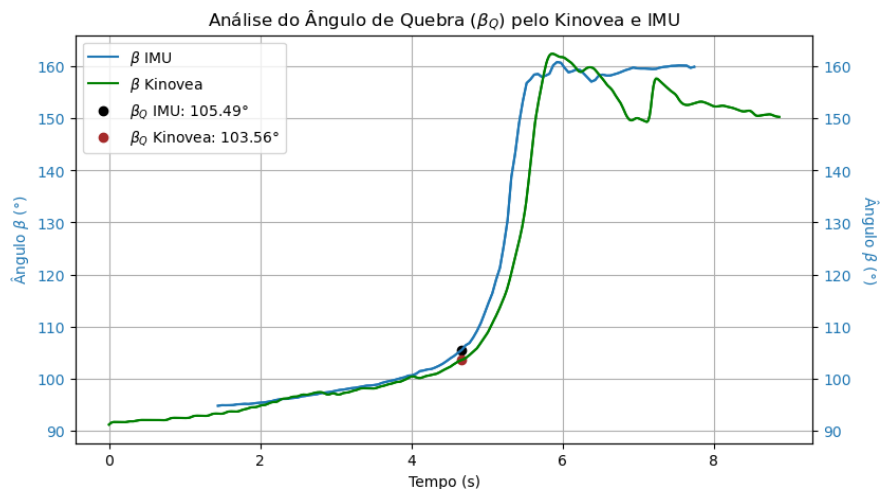


Figura 41 – Comparação ângulo de quebra do usuário na posição lateral, segunda bateria quinto teste



Também foi realizado o teste colocando diferentes modelos e sistemas de smartphones em um único usuário ao mesmo tempo, para obter a diferença de dados entre eles.

Figura 42 – Comparação dos dados dos Smartphones

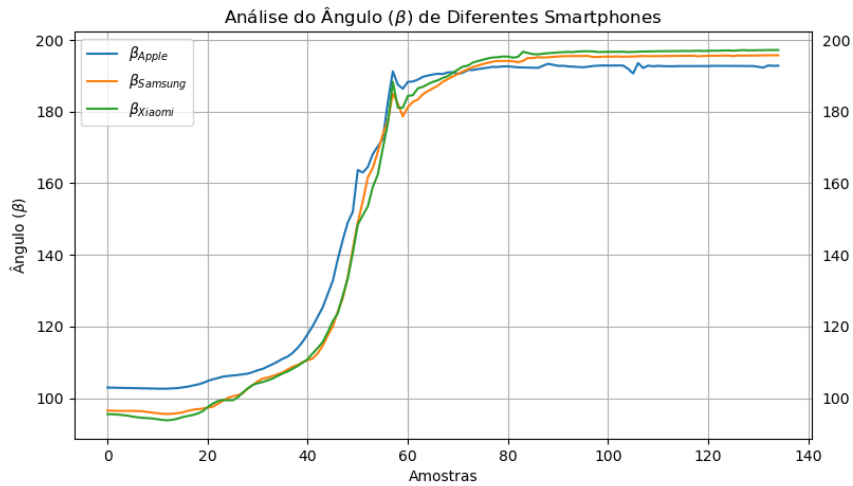


Tabela 5 – Cálculos dos dados dos Smartphones

Cálculos	Apple com Samsung	Apple com Xiaomi	Samsung com Xiaomi
MAE	4.4906	5.3615	1.393
MAPE(%)	3.2988	3.8629	0.9082
PEARSON	0.9968	0.9964	0.9995

Os dados da Figura 42 e a Tabela 5 mostram que a diferença entre os sistemas operacionais e os modelos de cada smartphone.

Sendo usado os smartphones Samsung Galaxy S21, iPhone 13 e Xiaomi Redmi Note 9S.

5 Considerações Finais

A presente pesquisa utilizou o programa Kinovea como base para validar o aplicativo Nórdico, aproveitando-se de sua ampla adoção como uma das ferramentas gratuitas mais populares e de código aberto para análise de vídeos de movimentos corporais.

Após a análise dos dados, conforme apresentado na Tabela 2, foram realizadas medições individuais para cada usuário, com o smartphone fixado na lombar. Os coeficientes de correlação de Pearson obtidos foram aproximadamente 0.83 para o usuário A e 0.87 para o usuário V. Apesar das diferenças na forma de coleta dos dados, esses resultados indicam uma correlação forte, evidenciando uma consistente relação entre os ângulos medidos.

O cálculo do MAPE mostrou que o usuário A apresentou um valor de aproximadamente 7.9%, enquanto o usuário V obteve 27.5%. Essa disparidade pode ser atribuída à postura inadequada do usuário V durante os testes, resultando em um maior erro de estimativa.

Com base nos dados analisados, o MAPE do usuário A foi menor que 8% pois os movimentos foram realizados corretamente. Esses resultados enfatizam a importância de realizar os exercícios com acompanhamento para evitar alterações posturais, garantindo maior precisão nas análises.

Na primeira bateria de testes, teve a coleta de dados com o smartphone fixado na coxa, em diferentes posições (lateral e posterior), como demonstrado na Tabela 3, observou-se que a posição lateral obteve uma das correlações de Pearson mais altas, atingindo 0.945. No entanto, a posição com o smartphone fixado na parte posterior da coxa apresentou a menor diferença nos valores médios (MAE de 2.32 e MAPE de 2.43%), apesar de ter uma das piores correlações (-0.17) em comparação com outras posições testadas.

Com esses dados é possível analisar que a melhor posição para se usar o smartphone e garantir que esses dados são condizentes com a realidade seria a da posição com o smartphone fixado na lateral da coxa.

Na segunda bateria de testes a posição lateral do smartphone teve sua MAE abaixo de 2 e a MAPE abaixo de 2%, contudo a sua correlação ficou com o valor de 0,58, que no caso teve uma piora em relação a bateria de testes anterior.

Nota-se que a questão das vestimentas do usuário influenciam nos testes como mostra as Tabelas 3 e 4, pois foi realizado os testes da mesma maneira, porém na primeira bateria de testes o usuário usava um short com o tecido mais grosso e na segunda deixou o smartphone por baixo do shorts. Esse fenômeno se deve pelo fato de que ao colocar por cima do shorts o volume do tecido tirou a defasagem de ângulo na posterior da coxa, pois a mesma tem um formato de tronco.

Porém quando realizado na posição lateral ganhou uma defasagem de ângulo, tornando a melhor posição para fixar o smartphone seja na lateral da coxa, já que pela posterior os dados ficam mais dependentes do tipo de fixação do smartphone. Para realizar o teste de forma adequada é necessário uma vestimenta de tecido fino para que não sofra a alteração da posição do smartphone dependentes da fricção da pele do usuário.

Sendo as condições ideais para realização desses testes o usuário usar uma vestimenta de tecido fino e fixar o smartphone na posição lateral da coxa.

Após comparar sistemas operacionais e modelos de smartphones, como evidenciado na Tabela 5, a maior diferença encontrada nos valores de MAPE foi de apenas 4%. Essa constatação ressalta que o aplicativo Nórdico é uma ferramenta acessível e aplicável em uma ampla variedade de smartphones.

Conclui-se, portanto, que o aplicativo Nórdico é uma ferramenta eficaz para análise prévia da saúde dos músculos isquiotibiais do corpo humano, comparando os dados com a ferramenta Kinovea. Sua utilização permite que profissionais e usuários realizem uma avaliação muscular localizada de forma mais precisa durante a execução de exercícios e tratamentos. As recomendações para melhorar a precisão dos resultados incluem o uso adequado do smartphone, com a fixação na lateral da coxa, e o cuidado com as vestimentas do usuário para evitar distorções nos dados coletados.

Referências

- ALURA. *Como fazer a migração do Expo para React Native CLI*. 2021. Disponível em: <<https://www.alura.com.br/artigos/como-fazer-a-migracao-do-expo-para-react-native-cli>>. Acesso em: 21 Jul. 2023. Citado na página 20.
- ALURA. *React Native: o que é e tudo sobre o Framework*. 2023. Disponível em: <<https://www.alura.com.br/artigos/react-native>>. Acesso em: 21 Jul. 2023. Citado na página 19.
- AMAZON WEB SERVICES. *O que é Python?* 2023. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/what-is/python/>>. Acesso em: 21 Jul. 2023. Citado na página 22.
- ANDREWS, A. P.; GREWAL, M. S. *Kalman Filtering: Theory and Practice*. [S.l.]: Wiley, 2015. Citado na página 30.
- EXPO. *Expo Documentation*. 2023. Disponível em: <<https://docs.expo.dev/>>. Citado na página 30.
- LEE, J. et al. Reliability, Validity, and Sensitivity of a Novel Smartphone-Based Eccentric Hamstring Strength Test in Professional Football Players. *Int J Sports Physiol Perform*, Int J Sports Physiol Perform, v. 13, n. 5, p. 620–624, 2018. PMID: 29283704. Disponível em: <<https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0336>>. Citado 3 vezes nas páginas 12, 13 e 24.
- LEE, J. et al. The reliability and validity of a video-based method for assessing hamstring strength in football players. *J Exerc Sci Fit*, J Exerc Sci Fit, v. 15, n. 1, p. 18–21, 2017. PMID: 29541126. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jesf.2017.04.001>>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- MOZILLA. *JavaScript*. 2022. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript>>. Acesso em: 21 Jul. 2023. Citado na página 19.
- OPAR, D. et al. A novel device using the Nordic hamstring exercise to assess eccentric knee flexor strength: a reliability and retrospective injury study. *J Orthop Sports Phys Ther*, J Orthop Sports Phys Ther, v. 43, n. 9, p. 636–640, 2013. PMID: 23886674. Disponível em: <<https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4837>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 13.
- OPAR, D. et al. The effect of previous hamstring strain injuries on the change in eccentric hamstring strength during preseason training in elite Australian footballers. *Am J Sports Med*, Am J Sports Med, v. 43, n. 2, p. 377–384, 2015. PMID: 25398244. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0363546514556638>>. Citado na página 11.
- TORRES, H. L. F. *MEMS – Sistemas Microeletromecânicos*. 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/mems/>>. Acesso em: 28 Fev. 2022. Citado na página 18.

TORRES, H. L. F. *Sensores Inerciais – Parte 1*. 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/sensores-inerciais-parte-1/>>. Acesso em: 28 Fev. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

TORRES, H. L. F. *Sensores Inerciais – Parte 2*. 2015. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/sensores-inerciais-parte-2/>>. Acesso em: 28 Fev. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.