

1. Componentes de Hardware

- **Sensor Inercial (IMU):**
 - **Exemplo:** MPU-6050 ou similar (combina acelerômetro e giroscópio).
 - **Função:** Registrar os movimentos (ângulos de flexão e extensão) do joelho.
 - **Microcontrolador:**
 - **Exemplo:** Arduino Nano, ESP32 (este já possui conectividade Wi-Fi/Bluetooth embutida) ou outro microcontrolador de baixo consumo e tamanho reduzido.
 - **Função:** Processar os dados do sensor e gerenciar a comunicação com o smartphone.
 - **Módulo Bluetooth:**
 - **Exemplo:** HM-10 (para BLE) ou utilizar o próprio módulo de conectividade do ESP32.
 - **Função:** Transmitir os dados coletados para o smartphone em tempo real.
 - **Fonte de Alimentação:**
 - **Exemplo:** Pequena bateria recarregável LiPo com um circuito de gerenciamento de carga.
 - **Função:** Alimentar todo o sistema de forma autônoma.
 - **Placa de Circuito Impresso (PCB) e Case:**
 - **Exemplo:** Uma PCB compacta para montagem dos componentes e um case ou invólucro adaptado à joelheira para proteção e fixação confortável.
-

2. Integração com o Joelho

- **Acoplamento ao Corpo:**
 - **Solução:** Integrar o dispositivo a uma joelheira ou cinta elástica que fique posicionada de forma que o sensor fique alinhado com o eixo de rotação do joelho.
 - **Ajuste:** A joelheira deve permitir que o dispositivo fique firme durante os movimentos, evitando ruídos nos dados e garantindo precisão na medição dos ângulos.
-

3. Funcionamento do Sistema

- **Calibração Inicial:**
 - O usuário inicia o dispositivo em um estado de referência, por exemplo, com o joelho totalmente estendido (definindo 0°).
 - O microcontrolador armazena esse valor para realizar medições relativas.
- **Aquisição de Dados:**
 - Durante a flexão e extensão do joelho, o sensor IMU registra as variações de orientação.

- O microcontrolador processa essas informações para calcular o ângulo de movimento, aplicando filtros (como o filtro de Kalman ou Complementar) para melhorar a precisão.
 - **Transmissão de Dados:**
 - Os dados processados são enviados via Bluetooth para um aplicativo no smartphone.
 - O app pode exibir em tempo real o ângulo atual, o ângulo máximo atingido durante o movimento e gerar gráficos para acompanhamento evolutivo.
-

4. Desenvolvimento do Software

- **Firmware do Microcontrolador:**
 - **Tarefas:**
 - Ler os valores do sensor IMU.
 - Processar os dados para determinar a amplitude de movimento do joelho.
 - Estabelecer e manter a conexão Bluetooth e enviar os dados periodicamente.
 - **Linguagem/Plataforma:** C/C++ (utilizando a IDE do Arduino, por exemplo).
 - **Aplicativo para Smartphone:**
 - **Funcionalidades:**
 - Receber dados via Bluetooth.
 - Exibir em tempo real a medição do ângulo de flexão/extensão.
 - Armazenar o histórico de medições para acompanhamento (ideal para reabilitação ou monitoramento de performance).
 - Possivelmente, incluir alertas ou dicas para correção de movimentos.
 - **Ferramentas:**
 - Android: Android Studio com Java/Kotlin ou
 - iOS: Xcode com Swift.
 - Bibliotecas para gráficos (por exemplo, MPAndroidChart) podem ser utilizadas para visualizações.
-

5. Exemplos de Aplicação

- **Reabilitação:** O dispositivo pode ser utilizado para monitorar a evolução da amplitude de movimento do joelho durante programas de fisioterapia, permitindo que o fisioterapeuta acompanhe remotamente o progresso do paciente.
 - **Treinamento Esportivo:** Atletas que precisam manter uma técnica adequada podem usar o dispositivo para monitorar a consistência do movimento durante treinos, evitando sobrecarga e melhorando a eficiência do movimento.
-

Resumo do Fluxo de Dados

1. **Movimento:** O joelho realiza flexão/extensão.
2. **Sensor:** O IMU capta as alterações de orientação.
3. **Processamento:** O microcontrolador interpreta os dados e calcula o ângulo de movimento.
4. **Transmissão:** Os dados são enviados via Bluetooth para o smartphone.
5. **Visualização:** O app no smartphone exibe os resultados em tempo real e registra o histórico.

Para mensurar com precisão a amplitude de movimento do joelho utilizando o sensor inercial (IMU) acoplado à joelheira, você estará buscando principalmente os seguintes tipos de dados:

1. **Velocidade Angular:**
 - **O que é:** Medida em graus por segundo ($^{\circ}/s$), ela indica a rapidez com que o joelho está se movendo durante a flexão e extensão.
 - **Utilidade:** Ao integrar a velocidade angular ao longo do tempo (com as devidas correções e filtrações), é possível estimar o ângulo de flexão ou extensão do joelho.
2. **Dados de Aceleração:**
 - **O que é:** Leituras do acelerômetro que capturam a aceleração linear nos eixos X, Y e Z.
 - **Utilidade:** Embora sejam menos diretos para medir o ângulo, esses dados podem ser usados para:
 - Calibrar o sistema, usando a aceleração da gravidade como referência (por exemplo, para determinar a orientação em repouso).
 - Complementar os dados do giroscópio por meio de algoritmos de fusão de sensores (como o filtro de Kalman ou filtro complementar), melhorando a precisão na determinação da orientação.
3. **Orientação ou Ângulos Calculados (Dados Fusão):**
 - **O que é:** Combinando as leituras de aceleração e velocidade angular, é possível calcular os ângulos de orientação (usando, por exemplo, ângulos de Euler ou quaternions).
 - **Utilidade:**
 - Determinar diretamente o ângulo de flexão/extensão do joelho.
 - Monitorar a variação do ângulo ao longo do movimento e identificar, por exemplo, o ângulo máximo atingido durante uma flexão.
4. **Dados Temporais:**
 - **O que é:** Informações sobre o tempo de cada ciclo de movimento (duração da flexão, extensão, etc.).
 - **Utilidade:**
 - Permitir análises sobre a cadência e a consistência do movimento, o que pode ser útil para aplicações em reabilitação ou monitoramento esportivo.

Em resumo, o principal objetivo é obter dados precisos que permitam calcular e acompanhar:

- O ângulo atual do joelho durante o movimento (flexão e extensão).

- A velocidade angular, que indica a rapidez do movimento.
- O histórico do ângulo, para monitorar o progresso ou identificar padrões na execução do movimento.

Esses dados, processados e exibidos em tempo real no aplicativo, fornecerão informações valiosas para avaliar tanto a amplitude de movimento quanto a qualidade do movimento realizado, servindo como ferramenta para reabilitação ou treinamento esportivo.

Como Esses Dados Podem Auxiliar na Detecção de Patologias?

- **Osteoartrite:**
Uma redução progressiva na amplitude de movimento combinada com uma diminuição na velocidade angular pode indicar rigidez articular típica da osteoartrite.
- **Lesões Ligamentares ou Meniscais:**
Alterações nos padrões de movimento, como instabilidade ou assimetria em comparação com o outro joelho, podem sugerir lesões nos ligamentos ou meniscos.
- **Reabilitação Pós-Cirúrgica:**
Monitorar a recuperação da amplitude de movimento e a consistência dos movimentos ao longo do tempo pode ajudar a avaliar a eficácia da reabilitação e a identificar quando o paciente está recuperando a funcionalidade plena.

Resumo:

Além de mensurar a amplitude de movimento, o dispositivo pode fornecer uma análise detalhada do comportamento dinâmico do joelho, monitorando velocidade, aceleração, simetria e parâmetros temporais. Esses dados complementares são extremamente úteis para detectar alterações funcionais e patológicas, permitindo um acompanhamento mais preciso e personalizado, seja para fins de reabilitação ou para a prevenção de lesões.

Revisão Bibliográfica e Definição de Requisitos

- **Objetivo:** Levantar estudos e referências para definir quais parâmetros serão medidos ex.: amplitude de movimento, velocidade angular, aceleração, dados temporais).
- **Meta Específica:** Listar valores de referência e critérios para identificar alterações em casos de osteoartrite, lesões ligamentares ou meniscais.

Seleção e Teste Inicial dos Componentes de Hardware

- **Objetivo:** Escolher e adquirir os principais componentes (MPU-6050, ESP32/Arduino Nano, módulo Bluetooth, bateria LiPo).
- **Meta Específica:** Realizar testes unitários conectando o MPU-6050 ao microcontrolador e capturar dados brutos, verificando a comunicação via Bluetooth com um computador/smartphone.

Desenvolvimento do Protótipo de Acoplamento (Fixação na Joelheira)

- **Objetivo:** Criar um design para integrar o dispositivo a uma joelheira que garanta o alinhamento correto do sensor com o eixo do joelho.
- **Meta Específica:** Projetar uma peça em CAD e imprimir uma versão prototipada em 3D, seguida de testes de estabilidade durante movimentos simulados.

Projeto e Fabricação do PCB Integrado

- **Objetivo:** Desenvolver um circuito impresso compacto que integre o sensor, microcontrolador e módulo Bluetooth.
- **Meta Específica:** Elaborar o esquema elétrico, realizar a simulação do circuito e enviar para fabricação de uma PCB protótipo.

Desenvolvimento do Firmware do Microcontrolador

- **Objetivo:** Programar a leitura dos dados do MPU-6050, aplicar filtros (ex.: filtro complementar ou de Kalman)
- **Checkpoint:** Firmware operacional que envia dados em tempo real para um dispositivo receptor.

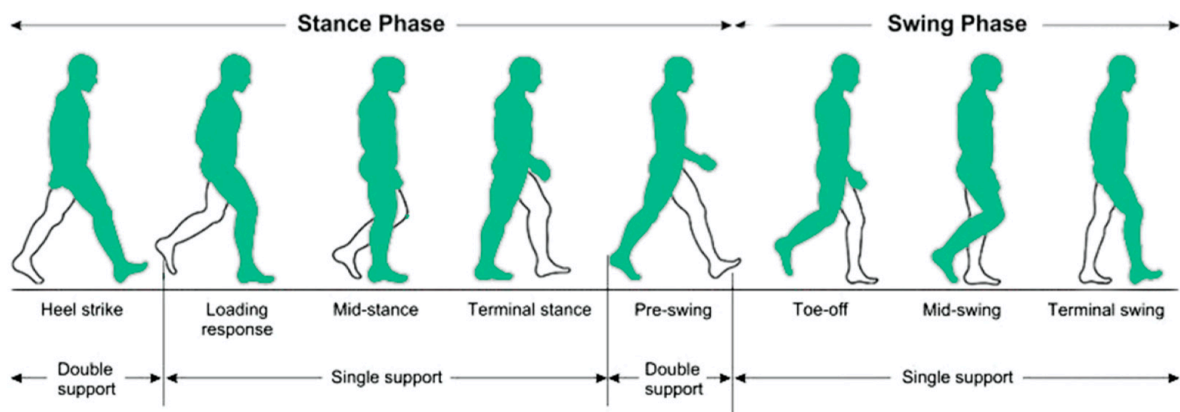
Desenvolvimento do Aplicativo para Smartphone

- **Objetivo:** Criar um app que receba, armazene e exiba os dados do movimento do joelho em tempo real.
- **Checkpoint:** Aplicativo testado em ambiente simulado e integrado com o dispositivo via Bluetooth.
- **Objetivo:** Criar algoritmos que analisem os parâmetros (amplitude, velocidade angular, aceleração, dados temporais) e identifiquem padrões anormais (ex.: redução progressiva, assimetria, instabilidade).
- **Meta Específica:** Definir critérios específicos para patologias como osteoartrite e lesões ligamentares, implementando e testando os algoritmos com dados simulados ou históricos.

- **Checkpoint:** Algoritmos de detecção integrados ao app e capazes de emitir alertas ou relatórios de anomalias.

Testes Pilotos com Usuários e Refinamento Final

- **Objetivo:** Realizar ensaios com um grupo de voluntários (ou pacientes, se possível) para coletar feedback prático e validar a usabilidade e a eficácia do sistema.
- **Meta Específica:** Conduzir sessões de teste, analisar os dados obtidos e ajustar tanto o hardware quanto o software com base no feedback dos usuários e dos profissionais de saúde.
- **Checkpoint:** Versão final do protótipo com documentação técnica e um manual de uso, pronta para uma possível fase de ensaios clínicos.



Resultados e Conclusões:

- Os gráficos e análises demonstraram alta precisão e excelente correlação entre os dados obtidos pelo sistema i-Sens e pelo sistema de referência.
- Os parâmetros de marcha (comprimento do passo, cadência, velocidade) também apresentaram bons níveis de confiabilidade.
- O estudo conclui que o sistema i-Sens é uma alternativa válida e econômica para a análise de marcha, recomendando ensaios clínicos adicionais.