

## **S.O.N.N.O. – Sistema de Observação de Navegação Noturna e Ocorrência Utilizando Acelerômetro/Giroscópio e Microcontrolador ESP32**

Cesar Augusto de Souza \*

Davi Brocaneli Messias \*\*

Eduardo Cabassa Bertocco \*\*\*

Jonas Léo Souza Pavarini \*\*\*\*

### **Resumo:**

O sonambulismo é mais perigoso do que parece, vários incidentes foram relatados em que as pessoas praticam atividades perigosas durante os episódios. Esta pesquisa tem como objetivo aplicar o conceito de Internet das Coisas na integração de uma pulseira com um aplicativo móvel para gerenciar o deslocamento de sonâmbulos. A aplicação pode detectar o deslocamento de um sonâmbulo por meio de uma pulseira e alertar o evento em um dispositivo móvel mediante um servidor, a fim de que uma pessoa próxima possa auxiliá-lo. Para monitorar os movimentos do sonâmbulo e identificar seus deslocamentos foram usados sensores inerciais. Os resultados apontam que a aplicação tem bom desempenho em quartos com mais de 9m<sup>2</sup>.

Palavras-chave: Sonambulismo, incidente, episódios, Internet das Coisas, pulseira, aplicativo móvel, deslocamento, sensores inerciais.

\*Técnico em Eletrônica, Etec Philadelpho Gouvêa Netto – [souzacesaraugustode@gmail.com](mailto:souzacesaraugustode@gmail.com)

\*\*Técnico em Eletrônica, Etec Philadelpho Gouvêa Netto – [dvbrocaneli@gmail.com](mailto:dvbrocaneli@gmail.com)

\*\*\*Técnico em Eletrônica, Etec Philadelpho Gouvêa Netto – [eduardobertocco7@gmail.com](mailto:eduardobertocco7@gmail.com)

\*\*\*\*Técnico em Eletrônica, Etec Philadelpho Gouvêa Netto – [jonaspavarini29@gmail.com](mailto:jonaspavarini29@gmail.com)

## I. INTRODUÇÃO

Atinge homens, mulheres e crianças, não há restrição de idade nem sexo isso é um distúrbio do sono que é chamado de sonambulismo. Este fenômeno consiste em uma série de comportamentos que se inicia durante o sono lento, sua principal característica é o caminhar noturno. O indivíduo pode apresentar durante o episódio um comportamento agitado, envolvendo o sujeito em situações perigosas como, sair de casa, subir em janelas, sacadas, provocando quedas e lesões em locais desprotegidos [NUNES 2002]. O distúrbio além de ser perigoso para o próprio sonâmbulo pode ser também para pessoas próximas, o que torna necessário o monitoramento contínuo do paciente. Porém, o monitoramento contínuo, principalmente à noite, é difícil para os familiares. Por mais que existam alguns medicamentos disponíveis no mercado não é aconselhado usá-los, pois apresentam efeitos colaterais [SINGHAL e JAIN 2015].

O sonambulismo, ou automatismo noturno, é uma parassonia (OHAYON, 2021) do sono NREM (Non-Rapid Eye Movement) caracterizada por episódios de deambulação ou comportamentos motores complexos que ocorrem predominantemente durante o sono profundo, especialmente na fase N3. Embora frequentemente associado à infância, sua persistência ou manifestação na vida adulta representa um desafio clínico subestimado. Estudos epidemiológicos apontam uma prevalência vitalícia global de cerca de 6,9%, com taxa de ocorrência significativamente maior em crianças (até 17%) em comparação aos adultos (<4%) (OHAYON, 2012). A taxa de recorrência pode variar de acordo com fatores genéticos, privação de sono, estresse e uso de substâncias psicoativas.

Do ponto de vista clínico e social, o sonambulismo está longe de ser uma condição inofensiva. Dados hospitalares indicam uma frequente associação com lesões físicas, incluindo quedas, fraturas, queimaduras e acidentes automobilísticos, além de correlações relevantes com distúrbios psiquiátricos como transtornos de ansiedade e depressão (MUME, 2007). O impacto financeiro associado ao manejo médico e a perda de produtividade também é expressivo, ainda que subnotificado em muitas bases de dados internacionais.

No nível neurofisiológico, há evidências de disfunção tálamo-cortical e estados de excitação parcial durante o sono N3, sustentadas por estudos de neuroimagem funcional como os exames a seguir eletroencefalograma (EEG), Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (SPECT), Ressonância Magnética Funcional (fMRI), que demonstram padrões de ativação incompleta do córtex pré-frontal durante os episódios (MUME, 2007). Essa dissociação entre centros motores e circuitos conscientes parece

ser a chave para a compreensão do comportamento automatizado e de risco observado nos sonâmbulos.

Com a evolução da tecnologia vestível, surgem novas possibilidades para monitoramento contínuo e não invasivo do sono, especialmente com uso de como o ActiGraph GT9X e o Actiwatch 2, que medem parâmetros como tempo total de sono (TST), tempo acordado após início do sono (WASO) e índice de fragmentação (SFI), no entanto, métodos tradicionais como o algoritmo Cole-Kripke ainda subestimam eventos de despertar, sendo necessário o uso de métricas mais refinadas (LIU et all, 2024).

No Brasil, o desenvolvimento e a comercialização desses dispositivos estão sujeitos à regulação da ANVISA (RDC 751/2022), que classifica e exige registro de software como dispositivo médico. A certificação INMETRO/CBR é também necessária para conformidade eletromagnética e segurança de produtos eletrônicos. Ademais, aspectos éticos e legais, como a Resolução CNS 466/2012 e a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD – Lei 13.709/2018), impõem diretrizes rígidas sobre a coleta, armazenamento e uso de dados biométricos em pesquisas com humanos.

Neste contexto, este trabalho propõe uma análise crítica e integrada das abordagens tecnológicas emergentes para a detecção e mitigação de riscos associados ao sonambulismo, com foco em dispositivos vestíveis, visão computacional e plataformas híbridas de monitoramento do sono.

## Objetivo geral

Identificar as características de pessoas que possuem sonambulismo; identificar o modelo de acelerômetro e giroscópio a ser usado na supervisão do indivíduo; desenvolver um protótipo de pulseira para identificação do sonâmbulo; desenvolver um protótipo de sistema móvel para gerenciar o comportamento do sonâmbulo; integrar o aplicativo desenvolvido com a pulseira de identificação por meio de um servidor web; avaliar os resultados obtidos com a aplicação. Estes são os objetivos específicos desta pesquisa.

Com o advento e o avanço da Internet das Coisas (IoT) o problema pode ser visto com uma perspectiva diferente. Esta tecnologia vem inovando diversas áreas do conhecimento e introduzindo técnicas modernas na resolução de problemas. A IoT possibilita conectar diversos objetos, agregando funcionalidades e expandindo novas tecnologias, como os wearables, que são formados por dispositivos eletrônicos

(sensores) conectados aos seres humanos. Estes equipamentos geralmente são usados pelas pessoas como acessórios (pulseiras) que auxiliam em suas tarefas do dia a dia. Além disso, podem ser usados para monitorar as atividades das pessoas [VERMA, RAJNISH e FATIMA 2017; DIAN, VAHIDNIA e RAHMATI 2020]. O reconhecimento da atividade humana tornou-se um dos tópicos mais estudados devido ao crescimento de tecnologias como Machine Learning (ML), Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT) [JOBANPUTRA, BAVISHI e DOSHI 2019]. Dispositivos vestíveis compostos por sensores inerciais são amplamente usados para reconhecer as atividades das pessoas [BADAWI, AL-KABANNY e SHABAN 2020].

## Objetivos específicos

Os sensores inerciais são dispositivos eletromecânicos tridimensionais (3D) que integram um acelerômetro de três eixos e um giroscópio de três eixos. O acelerômetro é capaz de medir uma aceleração dinâmica e uma estática em cada eixo x, y e z presente no equipamento. A aceleração dinâmica é gerada quando o sensor se move para alguma direção, enquanto a estática é uma aceleração de inércia, esta é conhecida como força gravitacional (G),  $1G \approx 9.8 \text{ m/s}^2$  [KURNIAWAN, HERMAWAN e PURNAMA 2016]. O giroscópio é capaz de medir a velocidade angular presente em cada eixo x, y e z do sensor. Uma funcionalidade bem aplicada no uso desses sensores é sua fusão, conhecida popularmente como fusão de sensores. Esta funcionalidade é usada para minimizar erros que tanto o giroscópio quanto o acelerômetro sofrem de ruídos externos. Uma das técnicas mais conhecidas é o uso do filtro de Kalman, que visa por meio de um algoritmo preditivo diminuir os ruídos e entregar informações mais próximas das reais [OLIVEIRA e GONÇALVES 2017].

## II. DESENVOLVIMENTO

### 1. Metodologia do projeto

Conforme o levantamento bibliográfico foi encontrado poucas pesquisas com a finalidade de monitorar sonâmbulos, em contrapartida, diversas para classificar atividades humanas. O estudo publicado por Singhal e Jain (2015) desenvolveu uma aplicação que visou monitorar sonâmbulos usando um sensor de presença (infravermelho) e uma

campanha a fim de detectar os eventos e alertá-los, um acelerômetro foi posicionado na cintura dos indivíduos para identificar suas quedas. O sistema realizava ligação e enviava mensagem quando identificado um evento. Os resultados em laboratório foram promissores, demonstrando que o sistema estava pronto para ser aplicado em eventos reais. A pesquisa de Li, Hou e Huang (2013) permitiu usar um acelerômetro no tórax ou na cintura para classificar atividades humanas como: caminhar, correr, ficar parado e detectar quedas. O algoritmo de reconhecimento das atividades era executado em um smartphone, que recebia os dados do sensor por meio do Bluetooth. Os resultados obtiveram uma precisão acima de 90% na classificação das atividades. O estudo realizado por Nguyen, Fan e Shahabi (2015) propôs usar uma base de dados com informações de um acelerômetro aplicado no pulso esquerdo e direito de três indivíduos para reconhecer suas atividades de deambulação. As principais atividades dos usuários avaliadas foram: caminhar, ficar em pé, sentar-se e se deitar. Para auxiliar na classificação dessas atividades usaram-se alguns algoritmos com Machine Learning (ML). Os resultados foram positivos, demonstrando que é possível reconhecer atividades de deambulação com um acelerômetro no pulso. O trabalho desenvolvido por Mano et al. (2016) usou um modelo de solução IoT que permitiu monitorar as atividades diárias de idosos (andando, correndo, sentado, deitado e em pé) por meio de um acelerômetro e um giroscópio aplicados no antebraço a fim de identificar quedas e notificá-las a um dispositivo móvel. O sistema apresentou um bom desempenho, chegando a uma precisão de 96.62% no reconhecimento das atividades. De acordo com os estudos realizados encontram-se poucas aplicações que sejam capazes de auxiliar indivíduos com sonambulismo, principalmente no setor de wearables. Portanto, esta pesquisa tem por objetivo aplicar o conceito de Internet das Coisas na integração de uma pulseira eletrônica com um aplicativo móvel para gerenciar o deslocamento de sonâmbulos.

O projeto de Darlan Domingos Candioto (Wearable baseado em internet das coisas para monitoramento de sonâmbulos) foi utilizado como inspiração para montar a pulseira SONNO, do projeto original ao projeto SONNO foram feitas algumas mudanças principalmente na parte eletrônica do circuito, foram escolhidos componentes que conseguem suprir as necessidades de maneira mais gratificante enquanto não seriam muito caros para integrar ao projeto. Já na parte de programação foram usadas as mesmas bibliotecas no Arduino IDE na sua versão 1.18.13 e em linguagem Javascript (JS) no ambiente de programação Visual Studio Code, versão 1.50.1, para que se mantenha a lógica do projeto apenas usando um microcontrolador mais adequado.

## 2. Fundamentação teórica

O módulo sensor consiste na pulseira SONNO feita para ser capaz de monitorar as movimentações do sonâmbulo. O módulo móvel é composto por um aplicativo que notifica, em tempo real, o deslocamento capturado pelo módulo sensor, ao usuário de um dispositivo móvel o qual pode ser um familiar ou uma pessoa próxima ao sonâmbulo para atender essa necessidade a equipe escolheu o aplicativo PushBullet. O módulo servidor conecta em tempo real os módulos citados anteriormente por meio de um serviço que trabalha com o protocolo de aplicação Message Queue Telemetry Transport (MQTT). Este módulo é o encarregado por armazenar a informação do deslocamento no banco de dados para o uso do aplicativo. A conexão entre os módulos é realizada mediante o modelo de rede sem fio Wi-Fi.

O servidor foi desenvolvido em linguagem JavaScript (JS) no ambiente de programação Visual Studio Code, versão 1.50.1. Para executar o código JS em backend foi usado o Node.js, versão 12.16.1. Foram usadas quatro bibliotecas para auxiliar no desenvolvimento da aplicação, são elas: Dotenv versão 8.2.0, Moment versão 2.27.0, Firebase versão 7.18.0 e Mosca versão 2.8.3. As bibliotecas foram disponibilizadas de forma gratuita pelo gerenciador de pacotes Node Package Manager (NPM), versão 6.13.4.

A biblioteca Dotenv permitiu que fossem configuradas algumas variáveis de ambiente para facilitar o desenvolvimento do código. A Moment disponibilizou várias funções que permitiram manipular variáveis vinculadas às datas. A conexão e a inserção de registros no banco de dados foram feitas pela Firebase. Por meio da biblioteca Mosca foi possível criar e dispor de um serviço baseado no protocolo de aplicação MQTT. Quando executada a aplicação por meio do Node.js, é iniciado o serviço na porta 1883 mediante a biblioteca Mosca. Para conectar as aplicações em pontos distintos da rede criam-se tópicos de comunicações, estes são gerenciados por um elemento interno da biblioteca conhecido como broker. Os tópicos possibilitam enviar e receber mensagens entre os módulos. Aplicações que enviam mensagens por meio desses tópicos são classificadas como editoras e aplicações que ficam escutando as mensagens dos tópicos são classificadas como assinantes.

Para fazer a comunicação entre o aplicativo e a pulseira a solução proposta usa dois tópicos a fim de conectar os módulos, são eles: tópico de deslocamento e tópico de notificação. Os nomes dos tópicos foram criptografados em um hash por um serviço

online conhecido como SHA256 a fim de criar nomes únicos para cada tópico e aumentar sua segurança. O tópico de deslocamento como o próprio nome sugere, está vinculado à mensagem enviada do módulo sensor ao identificar um novo deslocamento. Portanto, este módulo é um editor do tópico de deslocamento. Para comunicar o aplicativo sobre o evento de deslocamento o módulo servidor assina o tópico citado anteriormente a fim de identificar uma nova mensagem. Quando o módulo servidor recebe uma nova mensagem por meio do tópico de deslocamento, ele imediatamente cria uma mensagem e a envia ao tópico de notificação, e como este tópico tem como assinante o módulo móvel, ao identificar uma nova mensagem este módulo dispara um alerta. Portanto, é possível conectar todos os módulos por meio do envio de mensagens.

A mensagem recebida no módulo servidor por meio do tópico de deslocamento contém o ID da conta conectada no aplicativo. Este ID é configurado de forma estática no módulo sensor. Antes de enviar uma nova mensagem ao tópico de notificação o servidor cria um objeto com o ID da conta recebida, a data do episódio e um texto com a descrição sobre o horário do evento. A mensagem é enviada ao tópico de notificação com um protocolo que concatena por meio de um & o ID da conta recebida e a descrição do horário. Por fim, o servidor salva o objeto no banco de dados. Estes dados salvos são usados posteriormente pelo aplicativo para gerar relatórios dos eventos identificados.

O aplicativo voltado para o sistema operacional Android foi desenvolvido em linguagem Java versão 8, a codificação ocorreu por meio da IDE Android Studio versão 3.6.1. As principais bibliotecas usadas para construir o app e anexá-lo dentro do ecossistema IoT foram: Firebase Auth versão 19.3.2, Firebase Database versão 19.3.1, MPAndroidChart versão 2.1.6 e Paho Android Service versão 1.0.2. Todas as bibliotecas mencionadas foram usadas de forma gratuita pelo gerenciador de pacotes do Android Studio. A biblioteca Firebase Auth permitiu criar contas de acesso ao app e autenticá-las durante o login na aplicação. Por meio da biblioteca Firebase Database foi possível acessar o banco de dados NoSQL Realtime Database e suas funções de leitura e escrita. O MPAndroidChart foi usado para criar relatórios gráficos que estavam vinculados a dados salvos pelo servidor. Por fim, foi usado o Paho Android Service, que permitiu estabelecer conexão ao serviço disponibilizado pelo servidor e trabalhar com o protocolo de aplicação MQTT. No desenvolvimento do aplicativo foi criada uma tela de cadastro, no qual foram requisitados dados básicos do usuário, os registros são realizados por meio de um serviço gratuito do Firebase conhecido como Authentication, que salva os dados principais para entrar na aplicação, como e-mail e senha, as outras informações do

usuário são salvas no próprio banco de dados. Foi desenvolvida uma tela de login para autenticação do usuário, a conta é autenticada usando-se o serviço Authentication. Portanto, logo após o cadastro, o usuário é levado à tela de acesso para entrar na aplicação. Foi desenvolvida uma tela principal para monitorar as mensagens enviadas ao tópico de notificação e para mostrar informações de eventos já capturados. Quando a autenticação é válida o usuário tem permissão para acessar a tela principal do aplicativo, esta tela busca no banco os dados salvos pelo servidor e produz relatórios gráficos referentes aos períodos dos eventos capturados. Estão presentes nesses relatórios a quantidade de eventos detectados, quantos detectados por dia do mês (1, 2, 3...), por dia da semana (segunda, terça, quarta....) e por horário (00:00h, 01:00h, 02:00h....). Estes relatórios estão vinculados ao mês e ao ano, selecionados no topo da aplicação na forma de um filtro.

Durante o acesso a tela principal, o aplicativo cria um serviço de monitoramento por meio do objeto nativo Service para executar em background e assinar o tópico de notificação. Portanto, é possível receber novas mensagens quando a aplicação está em segundo plano e até mesmo quando o dispositivo móvel estiver bloqueado. Para manter este serviço ativo e evitar que o sistema operacional do android o elimine, é criado um processo com os objetos nativos Handler e Runnable, que fica executando em um intervalo de 1.5 minutos, neste processo uma mensagem é enviada a um tópico auxiliar do servidor chamado de alive (nome do tópico foi criptografado em um hash pelo SHA256). É notificado sobre o serviço de monitoramento, pois o sistema operacional android não aconselha executar atividades em background sem que o usuário tenha conhecimento. Ao receber uma nova mensagem, o aplicativo usa o protocolo do & para obter as duas informações enviadas pelo servidor, que são: o ID da conta usada no módulo sensor e a descrição sobre o horário do evento capturado. Posteriormente, é avaliada se a conta é a mesma conectada no aplicativo, caso a condição seja satisfeita, é criada uma notificação por meio dos objetos nativos NotificationCompat, NotificationManager e NotificationChannel, e emitido um som por meio do objeto nativo MediaPlayer, o som é semelhante a um despertador, a fim de chamar a atenção do usuário. Só é possível remover a notificação clicando sobre ela, e ao clicá-la o usuário é levado a uma tela que foi desenvolvida para exibir algumas informações sobre o evento, como o horário, obtido pela mensagem enviada pelo servidor, e os nomes, informados durante o cadastro da conta, estes nomes referem-se ao usuário do aplicativo e da pulseira, respectivamente.



### 3. Dados das pesquisas

*Tabela 1 – Resultados da coleta de dados.*

	Tempo(s)	Distância(m)	Velocidade(m/s)
Voluntário 1			
1ª Simulação	2,06	1,96	0,95
2ª Simulação	2,17	2,24	1,03
3ª Simulação	4,73	3,67	0,77
4ª Simulação	3,28	2,41	0,73
5ª Simulação	4,17	2,99	0,71
	Tempo(s)	Distância(m)	Velocidade(m/s)
Voluntário 2			
1ª Simulação	6,64	5,70	0,85
2ª Simulação	1,71	2,17	1,26
3ª Simulação	3,39	4,05	1,19
4ª Simulação	2,95	3,21	1,08
5ª Simulação	5,33	4,42	0,82
	Tempo(s)	Distância(m)	Velocidade(m/s)
Voluntário 3			
1ª Simulação	3,53	3,40	0,96
2ª Simulação	3,51	2,75	0,78
3ª Simulação	3,46	2,40	0,69
4ª Simulação	3,60	2,25	0,62
5ª Simulação	8,23	5,53	0,67

*Fonte: Dados da pesquisa, 2025*

*Tabela 2 - Resultados de mediana e amplitude dos dados coletados*

	Mediana (Minimo – Maximo)	Valor-p
Tempo(s)		
Voluntario 1	3,28 (2,06 – 4,73)	0,512
Voluntario 2	3,39 (1,71 – 6,64)	
Voluntario 3	3,53 (3,46 – 8,23)	
Distância(m)		
Voluntario 1	2,41 (1,96 – 3,67)	0,298
Voluntario 2	4,05 (2,17 – 5,70)	
Voluntario 3	2,75 (2,25 – 5,53)	

*Fonte: Dados da pesquisa, 2025*

### 4. Protótipo, montagem e testes

No desenvolvimento da pulseira, na parte de hardware, foi usada uma bateria de lítio do tipo N, um Esp32 DevKit com chip Wi-Fi nativo, um sensor MPU-6050 da InvenSense com acelerômetro e giroscópio integrados, um botão de acionamento, e um TP4056 para carregar o circuito.

Para acoplar os componentes usou-se uma caixa de plástico com as seguintes dimensões 67x45x40mm. Os componentes foram presos no interior da caixa por meio de solda. Para fixar a caixa no pulso do usuário foi usada uma pulseira de elástico com velcro. A caixa foi presa ao elástico por meio de cola quente e pequenos parafusos.

No desenvolvimento lógico do circuito eletrônico utilizou-se uma placa controladora Esp32 DevKit com uma alimentação entre 3.3 volts (V) a 5V e uma dimensão de 50x25x3mm. Para monitorar os movimentos do usuário foi empregue um sensor MPU-6050 com uma alimentação de 3.3V é uma corrente de 3.3mA com um tamanho de 21x17x3mm, que integra um acelerômetro com três eixos (x, y e z) e um giroscópio com três eixos (x, y e z), suas faixas escalares são  $\pm 2$ ,  $\pm 4$ ,  $\pm 8$ ,  $\pm 16g$  e  $\pm 250$ ,  $\pm 500$ ,  $\pm 1000$ ,  $\pm 2000^\circ/s$  para o acelerômetro e giroscópio, respectivamente. A bateria de lítio aplicada dispõe de 3.7V e 2000 miliampere (mA) para alimentar o circuito. O botão de acionamento usado no circuito permite controlar a alimentação no Esp32. Empregou-se o controlador de carga TP-4056 entre a bateria e o MPU-6050 para regular a tensão, pois com a tensão direta da bateria o MPU-6050 iria queimar então o foi posto o controlador de carga para diminuir a tensão para 3.3V e principalmente diminuir a corrente da bateria no circuito para uma corrente de aproximadamente 4mA, a escolha dessa tensão e corrente é pelo fato que são a tensão e corrente ideais para o funcionamento do sensor MPU-6050.

O Esp32 e o MPU-6050 comunicam-se mediante a interface Inter-Integrated Circuit (I<sup>2</sup>C). Para estabelecer essa comunicação conectaram-se os pinos SDA e SCL do sensor aos pinos 21 e 23 da placa controladora, respectivamente, que são as portas usadas para comunicar os equipamentos conforme a interface supracitada. Com a presença da bateria de lítio é possível recarregar o sistema eletrônico apenas energizando-o. Para auxiliar no processo de energização usou-se a entrada micro USB do controlador de carga, sendo possível recarregar o circuito com um carregador de 3.3V e um cabo micro USB. Foi aplicado um controlador de carga TP-4056 para carregar o circuito e manter o nível de tensão estável sobre a bateria durante o carregamento, evitando que ocorra uma sobrecarga e a danifique. O TP-4056 foi colocado entre a placa controladora e a bateria, conectando-se o Ground (GND) de entrada e o OUT- do controlador ao GND da bateria,

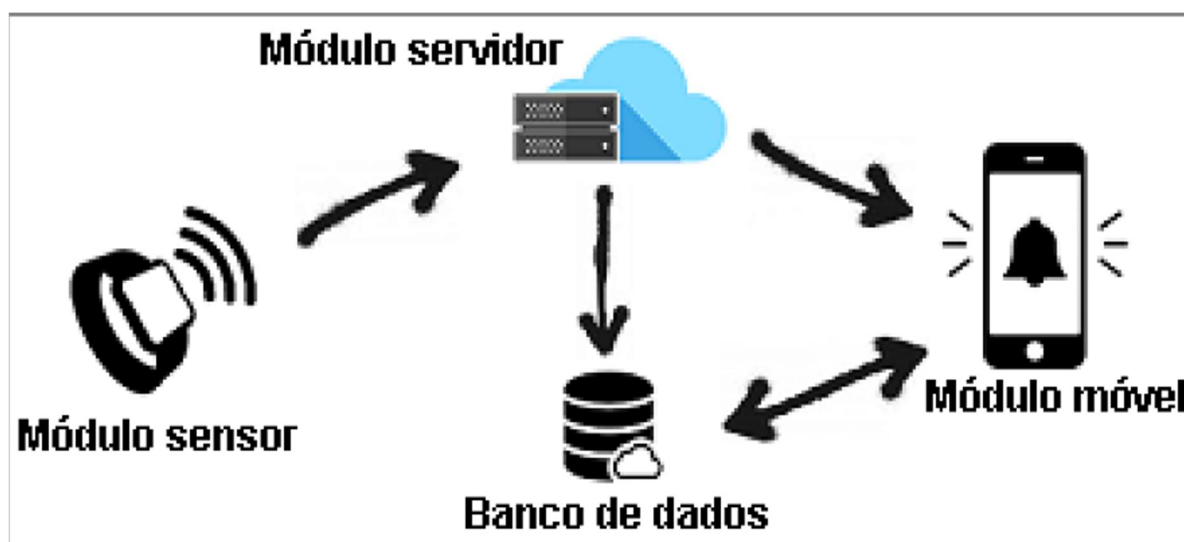
a alimentação de entrada do controlador ao USB da placa controladora, e o OUT+ do controlador na Tensão Corrente Contínua (VCC) da bateria.

Para fazer o controle de alimentação no ESP32 foi aplicado um botão de acionamento e foi aproveitado o LED do ESP32 para indicar o status (ligado/desligado) do equipamento.

O MPU-6050 recebe a alimentação pelo ESP32 integrado a um controlador de carga TP-4056 fazendo com que o controlador de carga consiga regular a alimentação antes de chegar ao MPU-6050, deixando a tensão e corrente ideal para o circuito, mesmo quando a bateria está carregando o que poderia resultar em picos de corrente (acima de 9mA) ou tensão (acima de 5V) e acabar queimando os componentes do circuito, o GND do TP-4056 foi ligado diretamente ao GND da bateria pelo mesmo motivo anterior. O ESP32 com um TP-4056 integrado a ele, fazendo assim eles regularem a tensão do VCC e deixar sempre em 3.3V, e a corrente máxima do circuito em aproximadamente 4mA, condições ideais para o funcionamento do sensor.

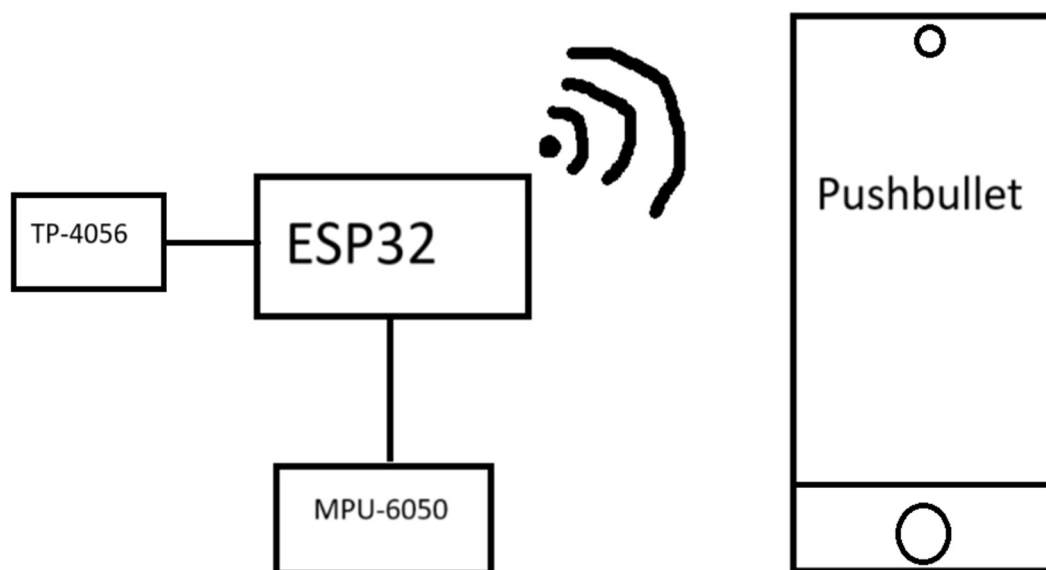
Nos testes feitos pela equipe (tabela 1) foram chamados três voluntários para cada um fazer cinco simulações para que nós recebêssemos os dados pegos pelos sensores os dados medidos nas simulações são: tempo, tempo que o paciente leva para levantar e começar a andar medido em segundos, distância, após levantar-se isto mede quanta distância ele percorre medido em metros e velocidade, relação de distância por tempo do paciente sonâmbulo medida por metros por segundo.

*Figura 1 – Visão geral do projeto S.O.N.N.O.*



*Fonte: De própria autoria, 2025*

Figura 2 – Diagrama de Blocos do projeto S.O.N.N.O.



Fonte: De própria autoria, 2025

Opções de componentes e escolhas:

Microcontroladores: ESP32, Arduino Uno, RaspBerry Pi.

Escolhido: ESP32

Motivos: O microcontrolador ESP32 era o que mais garantia custo-benefício para o projeto, pelo projeto usar a tecnologia IoT não seria viável usar o Arduino Uno, agora o Raspberry seria uma opção melhor visto que ele é mais poderoso, capacidade de rodar sistemas operacionais completos, mais recursos (memória, conectividade), mais adequado para tarefas que exigem mais poder de processamento, porém em comparativo com o ESP32 ele consome mais energia, maior tamanho, mais caro que o ESP32, menos adequado para tarefas de tempo real.

O projeto se baseia em uma pulseira vestível que rastreia e mede os dados em tempo real, o tamanho do Rasberry não seria de acordo afinal causaria desconfortos na hora de usar e ficaria muito pesado, além do tamanho o preço dele não ficaria viável ao projeto, por isso e pelo fato de que o ESP32 é mais adequado para tarefas em tempo real o ESP32 foi escolhido como microcontrolador do circuito.

Sensores giroscópios: MPU-6050, Honeywell FOG, Northrop Grumman LN-200, Analog Devices ADXRS453.

Escolhido: MPU-6050

Motivos: O MPU-6050 ele é um Giroscópio MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), ele perde em questão de precisão para os outros tipos de giroscópios, porém pelas suas características de: Tamanho compacto, baixo consumo de energia, preço acessível e a facilidade de integração com microcontroladores e sistemas embarcados ele foi escolhido por ser mais vantajoso, de maneira mais explicada, o Honeywell FOG é um Giroscópio de fibra ótica (FOG) que assim como outros modelos possui uma precisão extremamente alta e uma resposta rápida e estável, porém como ele são usados em navegações marítimas então ele é maior, o que faria não ser ideal para o projeto. O Northrop Grumman LN-200 é um Giroscópio de anel laser (RLG) esses tipos de giroscópio possuem uma ampla faixa de operação, tanto que são usados em veículos de defesa e em navegações aéreas, todavia esses giroscópios eles têm um consumo muito alto de energia o que faria ele não durar a noite toda monitorando o paciente, por isso foi descartado como opção. Por fim temos o Analog Devices ADXRS453 que é um Giroscópio de Silício (Silicon Gyroscopes), esses giroscópios se caracterizam por uma alta precisão, baixo consumo de energia e são mais compactos e fáceis de encaixar em circuitos, entretanto, eles são mais caros o que faria o custo do projeto se elevar, o que vai contra a intenção do projeto dele ser de fácil acesso e barato fazendo não ser uma boa opção.

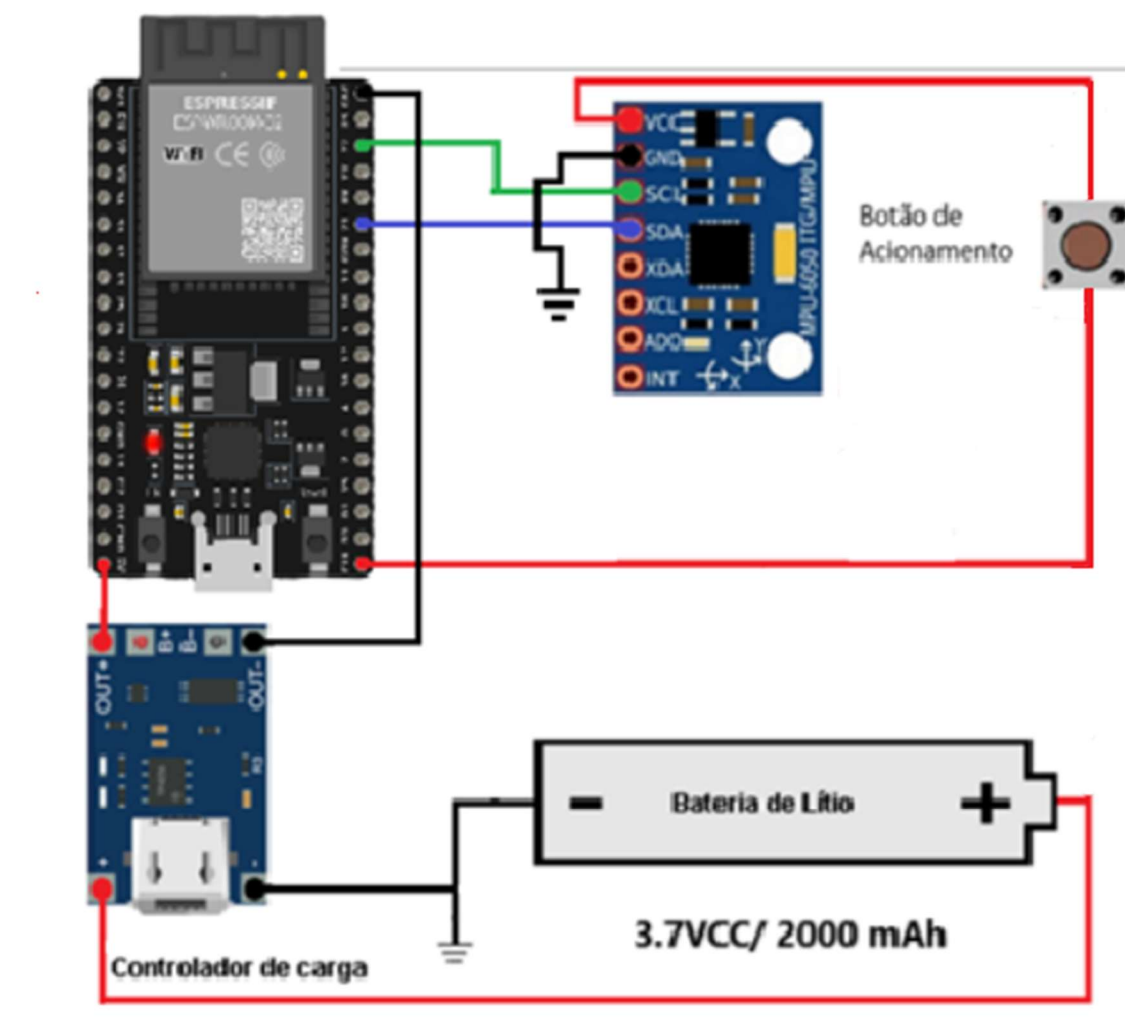
Reguladores de tensão: TP4056; LM7805; Buck-Boost; MP1584; LT3080; TPS7A02.

Escolhido: TP4056

Motivo: Por mais que o TP4056 não seja o mais avançados dos reguladores de tensão, ele foi um dos únicos modelos que agrada nas vantagens ao ponto de ser escolhidos, por exemplo o LM7805 é fácil de usar, barato e estável porém ele tem uma eficiência muito baixa e aquece excessivamente então ele e outros reguladores lineares foram descartados como opção, já Buck-Boost também é estável, é eficiente, porém ele é complexo e tem o custo alto então não seria viável colocá-lo no circuito fazendo ele e outros reguladores chaveados não serem escolhidos, o MP1584 é eficiente assim como o Buck-Boost e é preciso, mas infelizmente ele é muito complexo e consome muita energia ele e outros reguladores de tensão digital foram descartados como opção por estes motivos, o LT3080 protege os outros componentes e é versátil na hora de ser utilizado, contudo ele é caro e a tensão de saída é extremamente limitada fazendo com que ele e os regulados de tensão com controle de corrente não fossem escolhidos e por

fim o TPS7A02 é um regulador com proteção tendo uma segurança elevada e uma facilidade na hora de usar, entretanto ele é muito complexo para o nosso protótipo e caro, assim então fazendo com que a melhor opção para o uso no projeto fosse o regulador linear TP4056.

Figura 3 – Desenho do esquema elétrico do projeto S.O.N.N.O.



Fonte: De própria autoria, plataforma: Wokwi, 2025

Figura 4 – Fluxograma de operação e programação do projeto S.O.N.N.O.

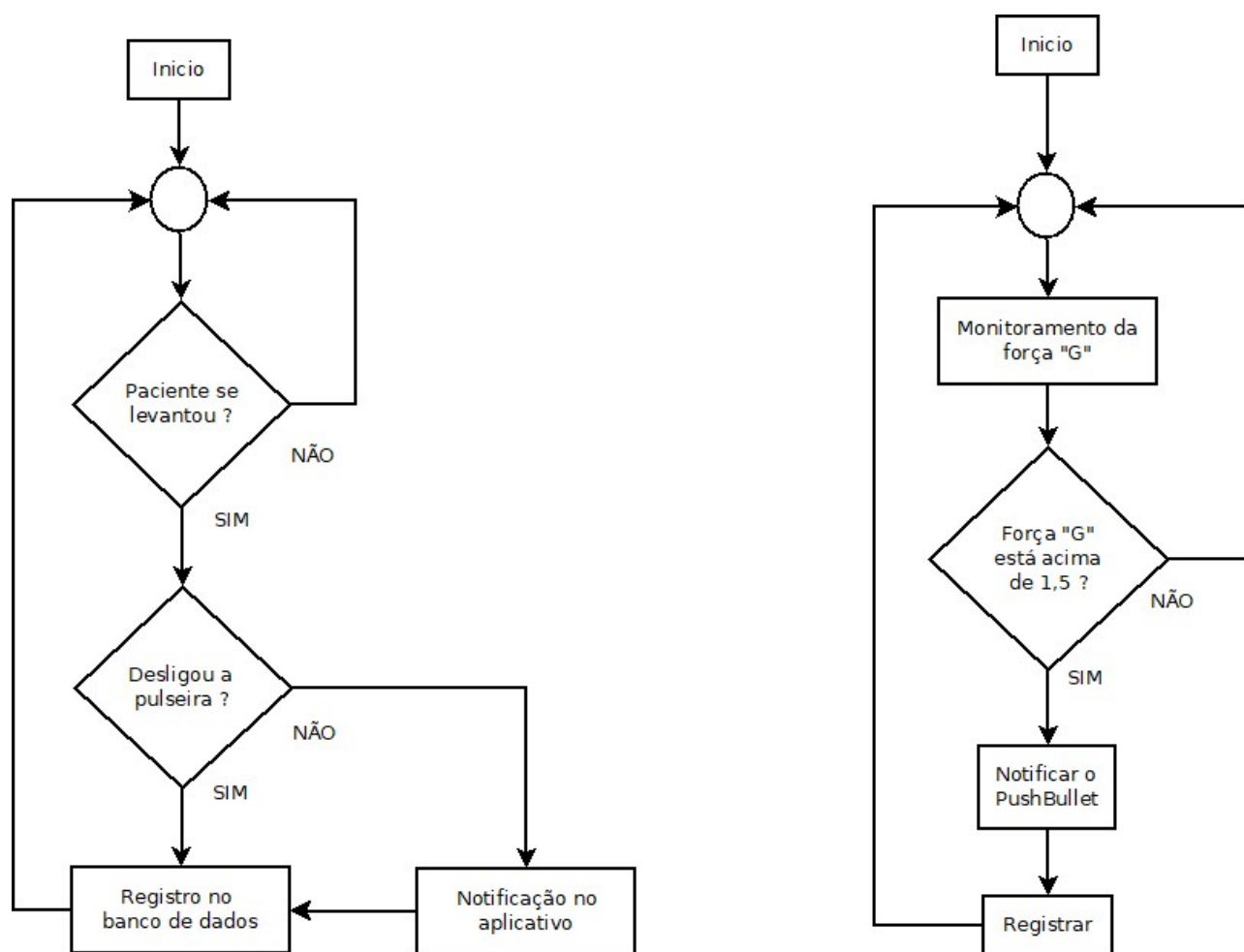
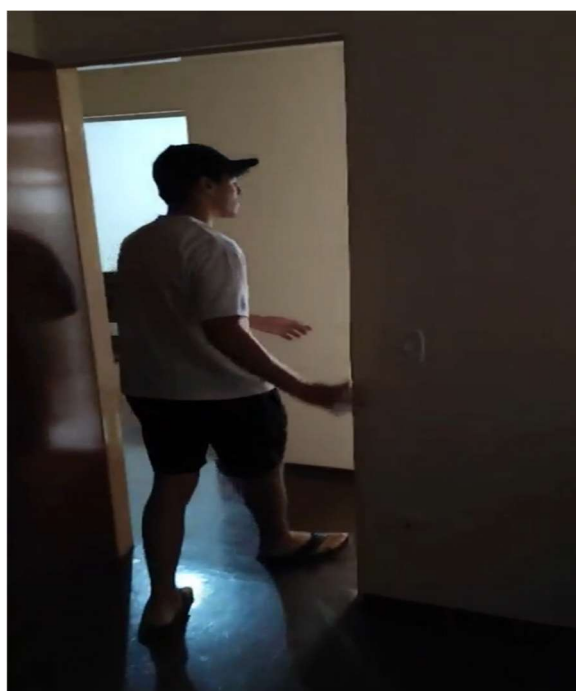


Figura 5 – Foto de capa do vídeo demonstrando o funcionamento prático do projeto S.O.N.N.O.



## 7. Resultados e discussões

Foram realizados os cálculos de mediana e amplitude nos dados coletados (Tabela 2), é possível perceber que o valor-p do teste aplicado ficou maior que 0,05, o que indica que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os voluntários, tanto no tempo, quanto na distância, mostrando homogeneidade quanto a essas variáveis. É possível perceber que a mediana de tempo entre os voluntários aproximou-se, em contrapartida, a mediana da distância do voluntário 2 apresentou uma diferença significativa em relação aos voluntários 1 e 3. Segundo os resultados alcançados com os dados coletados e o erro amostral (1,50 metros) há evidências que a aplicação tem bons números em quartos tradicionais com mais de 9m<sup>2</sup>, no qual é possível estimar 1,50m da cama até a porta e 1,50m da cama até a janela, resultando em uma parede com 3m de comprimento.

O algoritmo empregue nesta pesquisa demonstrou capacidade de monitorar a movimentação do usuário e detectar seu deslocamento por meio de uma pulseira. Porém, a técnica de intervalos usada diminuiu a possibilidade de identificar outra movimentação do corpo, como por exemplo, quando o usuário está correndo, já que o movimento do braço se difere de uma caminhada. Os resultados obtidos confirmam que durante uma caminhada as pessoas movem seus braços para frente e para trás, e vice-versa, pois, foi possível detectar todos os deslocamentos. Durante as simulações não houve nenhum obstáculo para dificultar a deambulação do usuário, como geralmente existe nas casas (porta do quarto), isto pode ter influenciado positivamente nos resultados. Foi possível perceber durante o desenvolvimento do algoritmo que o pulso é um local do corpo que sofre muita movimentação, portanto, é um local complexo de se trabalhar na monitoração de movimentos do corpo humano. O trabalho de Nguyen, Fan e Shahabi (2015) usou uma base de dados retirada da Activity Recognition Challenge que continha dados de um acelerômetro aplicado no pulso esquerdo e direito de três indivíduos realizando suas atividades matinais. O objetivo da pesquisa era avaliar essa base de dados por meio de algoritmos com Machine Learning (ML) para reconhecer as deambulações dos usuários. Os algoritmos de ML aplicados permitiram além de reconhecer as caminhadas ampliar o grau de classificação das movimentações do corpo em: ficar em pé, sentar e deitar, classificações que se necessárias o algoritmo empregue na presente pesquisa não seria capaz de fazer de forma prática e precisa. Os principais algoritmos de ML usados no trabalho de Nguyen, Fan e Shahabi (2015) foram: Naive



Bayes, Support vector machine, Decision Tree, Multlayer Perceptron, k-NN e Random Forest. WEKA foi a ferramenta usada para empregar os algoritmos na base de dados. Os resultados demonstraram que o Random Forest atingiu 91,92% de precisão na classificação das movimentações do corpo. O algoritmo empregue na pesquisa de Li, Hou e Huang (2013) para classificar atividades humanas em: caminhar, correr, ficar parado e detectar quedas, usou o filtro de Kalman e o Signal Vector Magnitude (SVM) assim como a presente pesquisa, porém com técnicas diferentes, demonstrando que o filtro e o SVM podem ser aplicados em diversos cenários. O algoritmo não usou ML para classificar as atividades humanas, porém como se desenvolveu um código mais complexo seu processamento foi feito em um smartphone. Os dados eram enviados ao disposto móvel por meio do modelo de comunicação sem fio Bluetooth. Comparando-se o trabalho de Li, Hou e Huang (2013) com a presente pesquisa, percebe-se que a localização do equipamento no corpo humano influencia na seleção do sensor e nas técnicas estabelecidas para monitorar as movimentações do corpo, como no trabalho de Li, Hou e Huang (2013) o dispositivo poderia ser posicionado no tórax ou na cintura, lugares que não sofrem tanta movimentação quanto o pulso, usaram somente um acelerômetro, diferente da presente pesquisa que além do acelerômetro precisou-se de um giroscópio para auxiliar na avaliação da orientação do braço. Por mais que tenham sido empregados diferentes métodos para conhecer as atividades do corpo, comparando-se os resultados é possível visualizar que ações como caminhar e ficar parado foram reconhecidas em ambos os trabalhos. O artigo publicado por Mano et al. (2016) aplicou sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio) no antebraço de pessoas idosas a fim de monitorar suas movimentações (andando, correndo, sentado, deitado e em pé) e identificar possíveis quedas, notificando-as em um dispositivo móvel. Similar a presente pesquisa foram definidos três módulos, são eles: sensor, servidor e móvel. Porém, a estrutura da aplicação diferenciou-se da presente pesquisa, não se usou o protocolo MQTT, pois o processamento dos dados era realizado no módulo sensor somente quando a carga de trabalho no módulo era baixa, caso a carga fosse alta os dados eram enviados ao módulo servidor para serem avaliados, por isso foi usado o protocolo Network File System (NFS), a fim de que os dados do sensor fossem transmitidos ao módulo servidor. Se a carga de trabalho continuasse alta no módulo servidor, os dados eram enviados por meio do protocolo SSH File Transfer Protocol (SFTP) a um serviço web para serem avaliados. O módulo sensor era formado por um Raspberry Pi, o que permitiu trabalhar com o protocolo NFS. É possível perceber que a forma e o local onde são processados os dados interferem diretamente na seleção do

protocolo de comunicação. Para a presente pesquisa foi selecionado o protocolo MQTT, pois é leve e rápido, comportando-se bem no transporte das mensagens desta pesquisa, pois são enviadas mensagens simples e em longos intervalos de tempo, não existe uma grande massa de dados sendo enviada continuamente como da aplicação de Mano et al. (2016), por isso não se pode afirmar que o MQTT se comportaria bem em um cenário como o de Mano et al. (2016). O trabalho de Singhal e Jain (2015) apresenta o mesmo propósito da presente pesquisa, que é apoiar sonâmbulos. Para isso eles usaram um sensor de presença (infravermelho) que aciona uma campainha ao detectar uma aproximação, realizando ligação e enviando mensagem para números cadastrados, além disso, usaram um acelerômetro na cintura dos indivíduos para identificar suas quedas. Uma das poucas comparações que é possível fazer entre a presente pesquisa e o trabalho de Singhal e Jain (2015) são os caminhos distintos que podem ser percorridos para solucionar um problema em comum, é possível demonstrar que os sensores inerciais e o sensor de presença que são equipamentos totalmente diferentes podem ser usados para finalidades semelhantes.

### III. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho aplicou os conceitos de Internet das Coisas em um protótipo de pulseira que possibilita gerenciar o deslocamento de sonâmbulos em um dispositivo móvel. A detecção e notificação em tempo real dos episódios de sonambulismo pode permitir um rápido atendimento ao sonâmbulo, aumentando a sensação de segurança e reduzindo a possibilidade de acidentes. A aplicação demonstrou ser um sistema flexível e prático de usar, bastando apenas de uma rede Wi-Fi para conectar todos os dispositivos, além disso, possui baixa complexidade computacional.

Os resultados alcançados confirmaram a eficácia no uso de sensores inerciais para monitorar os movimentos humanos. Por meio de variáveis como tempo (segundos), distância (metros) e erro amostral (metros) evidenciou-se que a aplicação apresentou resultados satisfatórios em quartos tradicionais com mais de 9m<sup>2</sup>. O algoritmo empregue demonstrou ser capaz de monitorar pessoas a fim de identificar seu caminhar e consequentemente seu deslocamento. Porém, a técnica aplicada limitou o reconhecimento de outras movimentações do usuário (correndo, sentado, em pé e deitado).

O pulso comprovou ser um local complexo de trabalhar com sensores inerciais. Embora os resultados tenham sido positivos na detecção de deslocamentos mediante caminhadas, para aplicar esta pesquisa em cenários reais novas medições experimentais devem ser feitas a fim de avaliar o comportamento do algoritmo quando o usuário permanece deitado por um longo período.

Com base nos conhecimentos adquiridos, bem como nos resultados obtidos, propõe-se para futuros trabalhos: empregar algoritmos de classificação com Machine Learning para reconhecer as movimentações do corpo a fim de gerenciar o deslocamento do usuário; aplicar filtros complementares nos dados do sensor para aumentar sua precisão; realizar experimentos com obstáculos no percurso dos indivíduos; aplicar experimentos com os participantes deitados em uma cama para avaliar o desempenho do algoritmo.

#### Abstract:

### N.N.O.O.S. – Night Navigation and Occurrence Observation System Using Accelerometer/Gyroscope and ESP32 Microcontroller

Sleepwalking is more dangerous than it seems; several incidents have been reported in which people engage in dangerous activities during episodes. This research aims to apply the concept of the Internet of Things to integrate a wristband with a mobile application to manage sleepwalkers' movements. The application can detect a sleepwalker's movement through a wristband and alert the event to a mobile device through a server, so that a nearby person can assist them. Inertial sensors were used to monitor the sleepwalker's movements and identify their movements. The results indicate that the application performs well in rooms larger than 9m<sup>2</sup>.

Keywords: Sleepwalking, incident, episodes, Internet of Things, bracelet, mobile app, displacement, inertial sensors.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OHAYON, Maurice M. – **Lifetime Prevalence of Sleepwalking Almost 30%**. Pauline Anderson, 16 maio 2012. Disponível em: <https://www.medscape.com/viewarticle/763933?> Acesso em 1 ago. 2025.

MUME, Celestine Okorome – **Prevalence of sleepwalking in an adult population**. Libyan J. 7 jan. 2010 Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3066770/?> Acesso em 1 ago. 2025.

LIU, Fangyu; SCHRACK, Jennifer; WANIGATUNGA, Sarah K.; RABINOWITZ Jill A.; HE, Linchen; WANIGATUNGA, Amal A.; ZIPUNNIKOV, Vadim; SIMONSICK, Eleanor M.; FERRUCCI, Luigi; SPIRA, Adam P. – **Comparison of sleep parameters from wrist-worn ActiGraph and Actiwatch devices**. Elsevier, 8 fev. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37257489/> Acesso em 4 ago. 2025.

ANVISA, RDC N°751/2022, **Dispõe sobre a classificação de risco, os regimes de notificação e de registro, e os requisitos de rotulagem e instruções de uso de dispositivos médicos**. Órgão: Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Diretoria Colegiada, 15 set. de 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-751-de-15-de-setembro-de-2022-430797145> Acesso em 11 ago. 2025.

LGPD, Lei 13.709/2018, **Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais**. Órgão: ANPD – Autoridade Nacional de Proteção de Dados, 14 ago. de 2018. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm) Acesso em 11 ago. 2025.

ABU-FARAJ, Ziad O.; HARRIS, Gerald F.; SMITH, Peter A.; HASSANI, Sahar - **Human Gait and Clinical Movement Analysis**. John G Webster, 15 dez. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/301935875\\_Human\\_Gait\\_and\\_Clinical\\_Movement\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/301935875_Human_Gait_and_Clinical_Movement_Analysis) Acesso em 18 ago. 2025.

BAWADI, Abber Aa.; AL-KABANNY, Ahmad; SHABAN, Heba A. - **Sensor Type, Axis, and Position-Based Fusion and Feature Selection for Multimodal Human Daily Activity Recognition in Wearable Body Sensor Networks**. Journal of Healthcare Engineering. 7 jun. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32587667/> Acesso em 18 de ago. 2025

BARBETTA, Pedro Alberto; REIS, Marcelo Menezes; BORNIA, Antonio Cezar - **Estatística: para cursos de engenharia e informática**. INE Pub. abril 2010. Disponível em: <https://www.inf.ufsc.br/~marcelo.menezes.reis/PoderTeste.pdf> Acesso em 18 de ago. 2025

BOHANNON, Richard W.; ANDREWS, A. Williams - **Normal walking speed: a descriptive meta-analysis**. Chartered Society of Physiotherapy London, 11 maio 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21820535/> Acesso em 18 de ago. 2025

BRUJIN, Sjoerd M.; MEIJER, Onno G.; BEEK, Peter J.; DIEEN, Jaap H. Van - **The effects of arm swing on human gait stability**. Journal of Experimental Biology, 1 dezembro 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21075935/> Acesso em 22 de ago. 2025

DIAN, Jonh F.; VAHIDNIA, Reza; RAHMATI, Alireza - **Wearables and the Internet of Things (IoT), Applications, Opportunities, and Challenges: A Survey**. IEEE (Institute of Electrical and Eletronics Engineers) Acess, abril 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/340493701\\_Wearables\\_and\\_the\\_Internet\\_of\\_Things\\_IoT\\_Applications\\_Opportunities\\_and\\_Challenges\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/340493701_Wearables_and_the_Internet_of_Things_IoT_Applications_Opportunities_and_Challenges_A_Survey) Acesso 22 ago. 2025

FAN, Yimeng; JIN, Hao.; GE, Yongzhe; WANG, Nan - **Wearable Motion Attitude Detection and Data Analysis Based on Internet of Things**. IEEE (Institute of Electrical and Eletronics Engineers) Acess, 27 nov. 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8915811> Acesso em 22 ago. 2025

JOBANPUTRA, Charmi; DOSHI, Nishant; BAVISHI, Jatna - **Human Activity Recognition: A Survey**. Procedia Computer Science, jan. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/335801122\\_Human\\_Activity\\_Recognition\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/335801122_Human_Activity_Recognition_A_Survey) Acesso em 22 ago. 2025

KURNIAWAN, Arief; HERMAWAN, A. R.; PURNAMA, I. K. E. - **A wearable device for fall detection elderly people using tri dimensional accelerometer**. International Seminar on Intelligent Technology and Its Application (ISITIA), jul. 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/312636401\\_A\\_wearable\\_device\\_for\\_fall\\_detection\\_elderly\\_people\\_using\\_tri\\_dimensional\\_accelerometer](https://www.researchgate.net/publication/312636401_A_wearable_device_for_fall_detection_elderly_people_using_tri_dimensional_accelerometer) Acesso em 22 ago. 2025

HUANG, Zhangquin; LI, Na; HOU, Yibin - **Implementation of a Real-Time Human Activity Classifier Using a Triaxial Accelerometer and Smartphone**. International Journal of Advancements in Computing Technology, fev. 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/272851611\\_Implementation\\_of\\_a\\_Real-Time\\_Human\\_Activity\\_Classifier\\_Using\\_a\\_Triaxial\\_Accelerometer\\_and\\_Smartphone](https://www.researchgate.net/publication/272851611_Implementation_of_a_Real-Time_Human_Activity_Classifier_Using_a_Triaxial_Accelerometer_and_Smartphone) Acesso em 22 ago. 2025

MANO, Leandro Yukio; FUNES, Marcio; VOLPATO, Tiago; NETO, José R. Torres - **Explorando tecnologias de IoT no contexto de Health Smart Home: uma abordagem para detecção de quedas em pessoas idosas**. Journal on Advances in Theoretical and Applied Informatics, ago. 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/316007400\\_Explorando\\_tecnologias\\_de\\_IoT\\_no\\_contexto\\_de\\_Health\\_Smart\\_Home\\_uma\\_abordagem\\_para\\_deteccao\\_de\\_quedas\\_e\\_m\\_pessoas\\_idosas](https://www.researchgate.net/publication/316007400_Explorando_tecnologias_de_IoT_no_contexto_de_Health_Smart_Home_uma_abordagem_para_deteccao_de_quedas_e_m_pessoas_idosas) Acesso em 25 ago. 2025

MEYNS, Pieter; BRUJIN, Sjoerd M.; DUYSENS, Jacques - **The how and why of arm swing during human walking**. Elsevier Sciencem, 13 mar. 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23489950/> Acesso em 25 ago. 2025

NGUYEN, Minh; FAN, Liyue; SHAHABI, Cyrus - **Activity Recognition Using Wrist-Worn Sensors for Human Performance Evaluation**. 15th IEEE International Conference on Data Mining Workshop, Nov. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/304085731\\_Activity\\_Recognition\\_Using\\_Wrist-Worn\\_Sensors\\_for\\_Human\\_Performance\\_Evaluation](https://www.researchgate.net/publication/304085731_Activity_Recognition_Using_Wrist-Worn_Sensors_for_Human_Performance_Evaluation) Acesso em 25 ago. 2025

NUNES, Magda Lahorgue - **Distúrbios do sono**. Jornal de Pediatria, 1 set. 2002. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/8842/1/Darlan%20Domingos%20Candiotto.pdf> Acesso em 25 ago. 2025

OLIVEIRA, Waldri dos Santos; GONÇALVES, Eduardo Nunes – **Implementação em C: Filtro de Kalman, Fusão de Sensores para Determinação de Ângulos**. Revista ForScience, dez. 2017. Disponível em: <https://forscience.ifmg.edu.br/index.php/forscience/article/view/287/173> Acesso em 29 ago. 2025

SINGHAL, Smriiti; JAIN, Prem Chand - **Wireless health monitoring system for sleepwalking patients**. Proceedings of the 2015 39th National Systems Conference, dez. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/305284490\\_Wireless\\_health\\_monitoring\\_system\\_for\\_sleepwalking\\_patients](https://www.researchgate.net/publication/305284490_Wireless_health_monitoring_system_for_sleepwalking_patients) Acesso em 29 ago. 2025