



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

PEDRO ITALO LOBO MATOS

**LUVA INTELIGENTE PARA DETECÇÃO DE MOVIMENTO E FORÇA DOS DEDOS
PARA REABILITAÇÃO PÓS-ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL (AVC)**

QUIXADÁ

2025

PEDRO ITALO LOBO MATOS

LUVA INTELIGENTE PARA DETECÇÃO DE MOVIMENTO E FORÇA DOS DEDOS
PARA REABILITAÇÃO PÓS-ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL (AVC)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação do Campus Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Me. Marcelo Martins da Silva.

QUIXADÁ

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M382 Matos, Pedro Italo Lobo.

Luva Inteligente Para Detecção de Movimento e Força dos Dedos Para Reabilitação Pós-Acidente Vascular Cerebral(AVC) / Pedro Italo Lobo Matos. – 2025.

63 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Engenharia de Computação, Quixadá, 2025.

Orientação: Prof. Me. Marcelo Martins da Silva.

1. AVC. 2. luva inteligente. 3. reabilitação. I. Título.

CDD 621.39

PEDRO ITALO LOBO MATOS

LUVA INTELIGENTE PARA DETECÇÃO DE MOVIMENTO E FORÇA DOS DEDOS
PARA REABILITAÇÃO PÓS-ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL (AVC)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação do Campus Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Computação.

Aprovada em: 30/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Marcelo Martins da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Thiago Werlley Bandeira da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Esp. Liana Rocha Praça
Centro Universitário Estácio do Ceará

Dedico esse trabalho a minha família, que sempre se fez presente na minha vida, me dando infinito amor e carinho. Principalmente a minha mãe, Rosa Maria Lobo Soares de Matos, por sempre me apoiar e me ajudar, mesmo nos momentos mais conturbados da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, aos meus pais, Rosa Lobo e Nilton de Matos. Seu apoio incondicional e educação de excelência foram o alicerce fundamental para toda a minha trajetória. Sou grato pela confiança depositada em mim, que me auxilia a superar meus próprios desafios e sempre buscar evoluir.

Aos meus irmãos, Maria Lívia e João Marcelo, pelo companheirismo e amizade constantes. Nossas conversas descontraídas e cheias de confiança mútua me ajudaram em momentos que eu não imaginava que precisava de ajuda.

A meus avós, Maria da Penha e Hermano Soares, por sempre me darem amor e carinho. Ao restante da família, tias, tios e primos, cujo suporte e senso de união foram de grande importância.

Aos amigos que a vida universitária me proporcionou, agradeço pela parceria e pelo apoio nos momentos de dificuldade, especialmente Felipe Alencar, Elias Fronta, Imario Almeida, João Vitor, Francisco Thiago, Gabriel Moreira e Erick Silva, a companhia deles tornou a graduação uma jornada mais leve. A meus colegas de apartamento, Alysson Keysson, Francisco Aldacelio e Victor Caio, por terem sido meus parceiros e segunda família.

Por fim, a mais profunda gratidão ao meu orientador, Marcelo Martins, pela condução segura e pela orientação ao longo de todo este trabalho. Sua disponibilidade, paciência e conhecimento foram indispensáveis para a conclusão desta etapa.

RESUMO

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) é uma das principais causas de incapacidade física, muitas vezes comprometendo os movimentos finos das mãos e dedos, o que afeta diretamente a autonomia dos pacientes. A reabilitação motora dos membros superiores é fundamental e, além das terapias convencionais, o uso de tecnologias tem se destacado no apoio à recuperação. Entre essas inovações, as luvas inteligentes surgem como uma solução promissora por monitorar os movimentos das mãos e fornecer *feedback* em tempo real, auxiliando tanto o paciente quanto os profissionais. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver e validar uma luva inteligente capaz de detectar e monitorar o movimento e a força individual dos dedos da mão, contribuindo diretamente para o processo de reabilitação motora de pessoas acometidas por AVC. A metodologia do projeto envolve a escolha e integração de componentes eletrônicos compatíveis, priorizando a disponibilidade e o suporte técnico existente. O protótipo foi desenvolvido a partir de uma luva confeccionada em tecido têxtil, equipada com sensores *flex* em cada dedo e sensores de força nos dedos indicador e anelar. Todo o sistema foi controlado por um microcontrolador ESP-WROOM-32, responsável pela leitura e processamento dos dados em tempo real. Para validar o funcionamento da luva, foram realizados testes práticos em ambiente controlado, simulando movimentos de flexão dos dedos e aplicação de força sobre objetos. Os dados obtidos foram recuperados via terminal e posteriormente divulgados na plataforma Excel, permitindo a geração de gráficos e medições. Os resultados demonstraram que a luva inteligente foi capaz de captar com precisão as variações de força e movimento dos dedos durante cerca de 20 ciclos repetitivos. Os dedos polegar e indicador apresentaram maiores picos de força, enquanto o dedo mínimo mostrou menor intensidade e maior variabilidade. As leituras dos sensores de flexão confirmaram padrões cíclicos consistentes. A utilização do protótipo auxiliou na execução dos movimentos propostos, corroborando com estudos prévios sobre o potencial das luvas inteligentes na reabilitação. A luva inteligente desenvolvida representa um avanço promissor na reabilitação motora, proporcionando uma solução inovadora e acessível para contribuir na recuperação da qualidade de vida de pessoas acometidas por AVC. Contudo, reforça-se a necessidade de validação clínica com um número maior de pacientes

Palavras-chave: AVC; luva inteligente; reabilitação.

ABSTRACT

Stroke (Cerebrovascular Accident, CVA) is one of the leading causes of physical disability, often impairing fine motor skills of the hands and fingers, directly affecting patients' autonomy. Upper limb motor rehabilitation is essential, and in addition to conventional therapies, the use of technological tools has gained prominence in supporting recovery. Among these innovations, smart gloves have emerged as a promising solution by monitoring hand movements and providing real-time feedback, assisting both patients and healthcare professionals. In this context, the present study aimed to develop and validate a smart glove capable of detecting and monitoring the movement and individual strength of the fingers, directly contributing to the motor rehabilitation process of individuals affected by stroke. The methodology involved selecting and integrating compatible electronic components, prioritizing availability and technical support. The prototype was developed using a textile glove equipped with flex sensors on each finger and force sensors on the index and ring fingers. The entire system was controlled by an ESP-WROOM-32 microcontroller, responsible for reading and processing the data in real-time. To validate the glove's functionality, practical tests were conducted in a controlled environment, simulating finger flexion movements and force application on objects. The data collected were transmitted via Wi-Fi and subsequently exported to Excel for graphical analysis and measurement generation. The results demonstrated that the smart glove successfully detected variations in finger strength and movement over approximately 20 repetitive cycles. The thumb and index fingers exhibited higher force peaks, while the little finger showed lower intensity with greater variability. The flex sensor readings confirmed consistent cyclic patterns. The use of the prototype facilitated the execution of the proposed movements, corroborating previous studies regarding the potential of smart gloves in motor rehabilitation. The developed smart glove represents a promising advancement in motor rehabilitation, offering an innovative and accessible solution to support the recovery of quality of life in individuals affected by stroke. However, further clinical validation with a larger number of patients is recommended.

Keywords: stroke; smart gloves; rehabilitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Características do acidente vascular cerebral isquêmico e hemorrágico e danos causados	19
Figura 2 – Terapias utilizadas para o tratamento do acidente vascular cerebral	20
Figura 3 – Luvas inteligentes usadas para uma variedade de propósitos, incluindo tradução de linguagem de sinais, Interface Homem-Máquina (IHM), controle robótico avançado, identificação de usuários e reconhecimento de objetos.	25
Figura 4 – Princípios básicos de funcionamento de sensores de deformação flexíveis e aplicações emergentes de bio-sinais fisiológicos no corpo humano.	28
Figura 5 – Estrutura de um sensor de força.	29
Figura 6 – Circuito de um filtro passivo passa-baixa.	29
Figura 7 – Protótipo em teste do sensor flexível.	31
Figura 8 – A luva inteligente e um paciente em treinamento.	32
Figura 9 – A luva instrumentada utilizando (a) Resistores Sensíveis da Força; (b) Sensores Flex.	33
Figura 10 – Protótipo de luva inteligente.	34
Figura 11 – Componentes da Luva Inteligente (A) Sensores de medição do ângulo articular na parte de trás da luva inteligente. (B) Sensores de pressão na parte frontal da luva inteligente.	35
Figura 12 – Protótipo de luva inteligente, (a) circuito interconectado de 5 sensores flexíveis (b) circuito interconectado de 5 sensores flexi-força (c) fixa ambos os circuitos em conjunto em uma luva de algodão (d) circuito de interconexão com sensor Max30100, tela OLED e botão (e) conectar bateria lipo com versão anterior da tela OLED de correção cicuit (f) e botão com capa de tela impressa 3D na versão final do protótipo de luva inteligente.	37
Figura 13 – Visão geral do projeto.	40
Figura 14 – Fluxograma com etapas do processamento dos sinais descritos.	41
Figura 15 – Arquitetura do projeto.	42
Figura 16 – Microcontrolador ESP-WROOM-32	42
Figura 17 – Arquitetura dos componentes.	43
Figura 18 – Luva inteligente desenvolvida neste trabalho, protótipo representado em várias posições com os sensores instalados e representados.	44

Figura 19 – Cenários de testes que foram usados como base para os experimentos. . . .	44
Figura 20 – Protótipo da luva inteligente e sua composição com os sensores. A) Face dorsal; B) Face ventral.	46
Figura 21 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do polegar (linha verde), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.	47
Figura 22 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do indicador (linha vermelho), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.	48
Figura 23 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do mínimo (linha vermelho claro), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.	48
Figura 24 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do médio (linha azul ciano), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.	49
Figura 25 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do polegar (linha verde), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente com a utilização do filtro passa-baixa. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.	50
Figura 26 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do Indicador (linha vermelho), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente com o uso do filtro passa-baixa. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.	51

Figura 27 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do médio (linha azul ciano), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente utilizando o filtro passa-baixa. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições. 51

Figura 28 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do Mínimo (linha vermelho claro), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente utilizando o filtro passa-baixa. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições. 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das Tecnologias Assistivas	24
Tabela 2 – Análise comparativa entre trabalhos relacionados a esta pesquisa	38
Tabela 3 – Resultados da matriz de confusão vinculados a validação do protótipo da luva inteligente para detecção do movimento de flexão dos dedos, antes e após a aplicação de filtro nos dados dos sensores. (F) – Filtro.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVC	Acidente Vascular Cerebral
AVCH	Acidente Vascular Cerebral Hemorrágico
AVCI	Acidente Vascular Cerebral Isquêmico
CAA	Comunicação Aumentativa e Alternativa
IA	Inteligência Artificial
IHC	Interação Humano-Computador
IHM	Interface Homem-Máquina
ISO	Organização Internacional para Padronização de Produtos Assistivos
OMS	Organização Mundial da Saúde
TA	Tecnologias Assistiva

LISTA DE SÍMBOLOS

A_e	Área efetiva da antena
B	Largura de faixa em que o ruído é medido em Hertz
d	Distância em metros
E	Campo elétrico
FA	Fator da antena
Gr	Ganho de recepção
h	Altura efetiva ou comprimento efetivo de uma antena
I	Corrente elétrica
k	Constante de Boltzmann's
K	Eficiência de irradiação
M	Variação do patamar de ruído em função da RBW
N	Condutor de neutro
NF	Figura de ruído
N_i	Potência do ruído na entrada
N_o	Potência do ruído na saída
P	Potência
R	Resistência
S_i	Potência do sinal na entrada
S_o	Potência do sinal na saída
t	Tempo
V	Tensão
Z_L	Impedância da antena
Z_o	Impedância de referência (50Ω)
λ	Comprimento de onda
Γ	Coefficiente de reflexão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivos Específicos	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	Acidente Vascular Cerebral (AVC)	18
3.1.1	<i>Reabilitação Motora dos Membros Superiores Pós-AVC</i>	20
3.2	Tecnologias de Reabilitação	21
3.2.1	<i>Tecnologia Assistiva</i>	22
3.3	Luvas Inteligentes	25
3.3.1	<i>Sistemas Embarcados</i>	26
3.3.1.1	<i>Sensores Flexíveis</i>	27
3.3.1.2	<i>Sensores de Força</i>	28
3.4	Filtro Passa-Baixa	29
4	TRABALHOS RELACIONADOS	31
4.1	<i>IoT-based Flex Sensor Gloves for Immobility Patients: A Prototype</i>	31
4.2	<i>Effects of Upper-Extremity Rehabilitation Using Smart Glove in Patients With Subacute Stroke: Results of a Prematurely Terminated Multicenter Randomized Controlled Trial</i>	32
4.3	<i>Design of a Low-Cost Instrumented Glove for Hand Rehabilitation Monitoring System</i>	33
4.4	<i>An IOT based Wearable Smart Glove for Remote Monitoring of Rheumatoid Arthritis Patients</i>	34
4.5	<i>Intelligent Glove for Rehabilitation of Hand Movement in Stroke Survivor</i>	35
4.6	<i>An Internet of Things-enabled smart glove for brain stroke rehabilitation</i>	36
4.7	Análise Comparativa	36
5	METODOLOGIA	40
5.1	Visão Geral	40
5.2	Algoritmo	40
5.3	Arquitetura	41
5.4	Protótipo	43

5.5	Experimentos	43
5.6	Análise dos dados	45
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
6.1	Pré-Filtro	47
6.2	Análise do Perfil de Força Individual dos Dedos após Aplicação do Filtro	
	Passa-Baixa	50
6.3	Matriz de Confusão	52
6.4	Limitações e Ameaças a Validade	54
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) é atualmente classificado como uma das principais causas de morte e incapacidade em todo o mundo. Estima-se que cerca de 7,6 milhões de pessoas com idade superior a 20 anos sofreram AVC (Barthels; Das, 2020) (Katan; Luft, 2018). Uma das principais atividades comprometidas em indivíduos que sofreram AVC é a mobilidade dos membros superiores: cerca de 85% das pessoas que sofreram essa lesão apresentam dificuldade em realizar os movimentos desses membros (Ase *et al.*, 2025). A recuperação oferecida naturalmente pelo corpo é limitada, por isso a busca por novas estratégias para fortalecer e restaurar a estrutura e função dos sinais nervosos é fundamental (Wang *et al.*, 2022).

As reabilitações baseiam-se em recuperar o fluxo sanguíneo para o sistema nervoso e tratar as lesões ocasionadas pelo AVC (Kuriakose; Xiao, 2020). Os tipos de reabilitação comumente utilizados são classificados em quatro categorias: intervenções de formação, que visam a implementação da atividade física; a farmacologia, com uso de drogas medicamentosas; intervenções baseadas em neuromodulação, com estimulação elétrica ou magnética; e, por fim, a intervenção tecnológica, que visa a aplicação da realidade virtual e robótica. Esta última pode tornar-se uma proposta de reabilitação promissora para recuperar as funções dos membros superiores (Stinear *et al.*, 2020).

Atualmente existe uma classificação de ferramentas utilizadas para a reabilitação de diversas comorbidades, são as denominadas Tecnologias Assistiva (TA), onde engloba recursos que mantêm e melhoram funções corporais como mobilidade e autocuidado. Inclui desde dispositivos físicos até sistemas com inteligência artificial. Seu uso impacta positivamente a vida dos pacientes ao ampliar habilidades funcionais e promover a recuperação (Sommer *et al.*, 2025).

Dentre as categorias de TA, existe o uso de tecnologias robóticas na clínica atual para auxiliar na recuperação de danos corporais. Elas podem ser divididas em dois tipos: as desenvolvidas para o treinamento dos membros cuja função foi perdida pós-lesão e as que são construídas para compensar a perda dessas habilidades (Klamroth-Marganska, 2018). Essa reabilitação, por meio de tecnologias, apresenta benefícios para os pacientes devido à ampla capacidade de adaptação aos tipos de *deficit* motores. Além disso, pode ser utilizada para medir a capacidade sensorial e motora dos membros afetados, fornecendo um diagnóstico sobre a eficácia do tratamento (Devittori *et al.*, 2024).

O treinamento utilizando dispositivos robóticos apresenta qualidades que o tornam uma terapia promissora para a recuperação dos movimentos, como a atividade repetitiva do membro, a intensidade e a atuação específica (Duret *et al.*, 2019). Além disso, a reabilitação robótica pode servir como terapia complementar para auxiliar na recuperação dos membros superiores. Uma das principais tecnologias utilizadas para a reabilitação desses membros, principalmente para as mãos, que sofrem grande dano e sequelas após um Acidente Vascular Cerebral, são as luvas inteligentes (Korzeniewska *et al.*, 2020).

O desenvolvimento desse tipo de tecnologia, significa evolução da relação entre *interface* homem-máquina, sendo aplicados para obter uma realidade mais próxima para a detecção de diversos tipos de mecanismos (Yang *et al.*, 2025). Vários estudos apresentam várias metodologias utilizadas para avaliar e auxiliar no diagnóstico ou na reabilitação para comorbidades que afetam principalmente o movimento de partes como corpo, como o *Parkinson*, demonstrando métodos promissores para entender melhor a evolução do paciente (Fazio *et al.*, 2025).

As luvas inteligentes são classificadas como tecnologias de reabilitação que promovem uma adaptação que permite graus de liberdade para o paciente e compensam os movimentos complexos com o tecido macio para não causar danos adicionais (Shin *et al.*, 2022) (Yap *et al.*, 2017). Segundo (Kang *et al.*, 2020), em um ensaio clínico controlado utilizando luvas inteligentes para reabilitação em pacientes com AVC subaguda, demonstrou-se que o uso das luvas possibilitou uma redução no *deficit* dos movimentos dos membros superiores.

Além disso, em (Dhiman; Kumar, 2025), seu estudo, analisaram a abordagem da utilização de uma luva inteligente para causar uma melhora e na agilidade da recuperação dos movimentos perdidos em decorrência do AVC, a luva foi habilitada com sensores flexíveis, sensores de força e o microcontrolador ESP32. Obtendo em seus resultados dados promissores, onde através de uma tecnologia econômica e precisa conseguia medir a força muscular, a força de preensão, armazenando os dados para utilização posteriormente.

Diante dessas premissas, este trabalho tem como objetivo desenvolver e validar uma luva inteligente capaz de detectar e monitorar o movimento e a força individual dos dedos da mão, visando auxiliar na reabilitação motora de pacientes pós-Acidente Vascular Cerebral, além de analisar os resultados para a obtenção de um *feedback* de resposta para a evolução do tratamento proposto.

2 OBJETIVOS

Desenvolver e validar uma luva inteligente capaz de detectar e monitorar o movimento e a força individual dos dedos da mão, visando auxiliar na reabilitação motora de pacientes pós-AVC.

2.1 Objetivos Específicos

- Projetar e construir um protótipo de luva inteligente;
- Implementar o sistema embarcado da luva;
- Avaliar o desempenho e analisar a taxa de movimentos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Acidente Vascular Cerebral (AVC)

O AVC é uma doença que afeta o sistema nervoso, caracterizada por um bloqueio nos vasos sanguíneos presentes na região nervosa (Kuriakose; Xiao, 2020). Essa comorbidade é capaz de causar coágulos que interrompem o fluxo sanguíneo através de uma obstrução que, eventualmente, evolui para um rompimento da artéria. Essa ruptura pode levar à morte de células neuronais no parênquima cerebral devido à falta de oxigênio (Zille *et al.*, 2022).

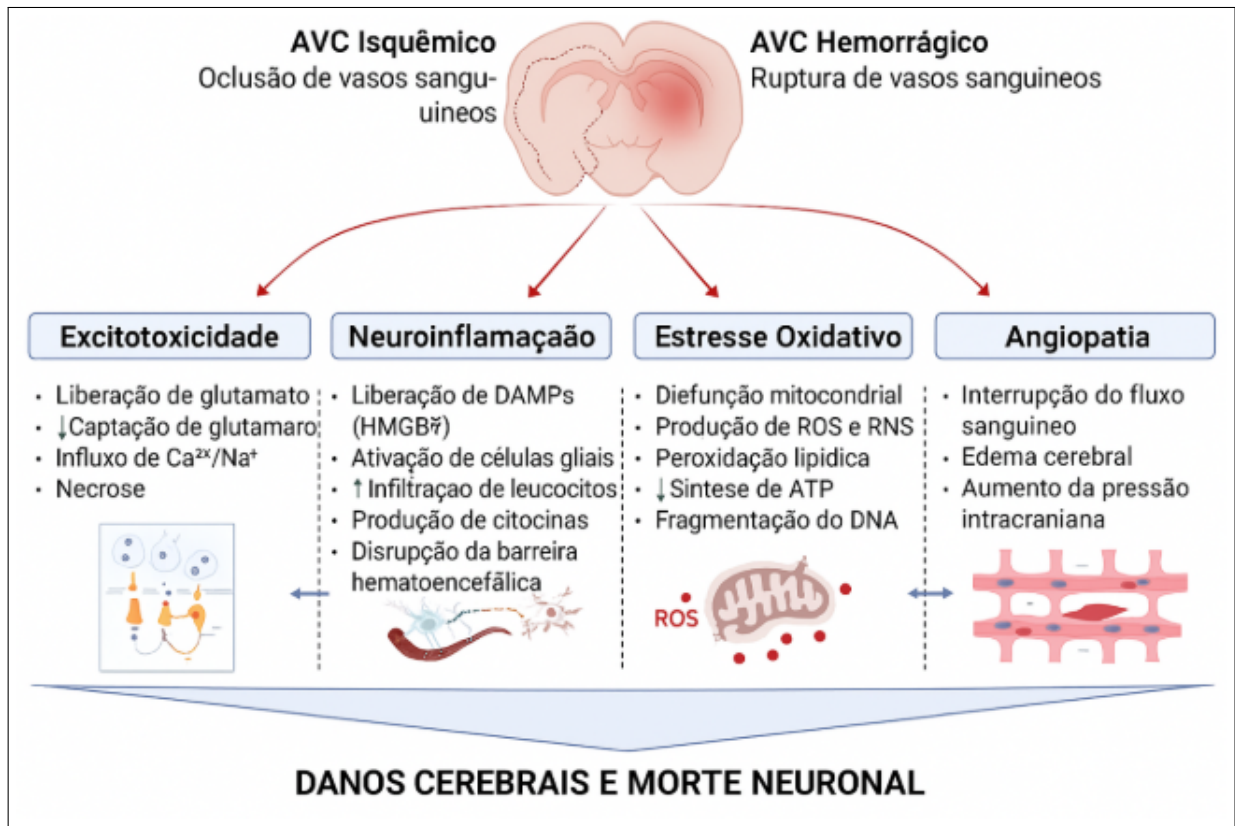
O AVC é classificado como a principal causa de morte mundialmente, afetando cerca de 13,7 milhões de pessoas, das quais aproximadamente 5,5 milhões sofrem morte cerebral por ano. A incidência correlacionada ao AVC aumentou duas vezes em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, enquanto diminuiu em países de alta renda no mesmo período. A idade, classe econômica, sexo e localização geográfica podem ser fatores que contribuem para o aumento significativo do AVC ao longo do tempo (Gorelick, 2019).

O fluxo sanguíneo transmitido para o cérebro é controlado por duas carótidas e duas artérias. Quando ocorre um rompimento desse fluxo, os níveis de oxigênio no cérebro diminuem drasticamente, desencadeando uma deficiência naquela região do corpo. Inicialmente, a oclusão desses vasos pode causar a morte do paciente; no entanto, também pode gerar danos secundários por sangramento intracerebral, levando a trombozes e embolias no cérebro (Musuka *et al.*, 2015). O AVC pode ser subdividido em: Acidente Vascular Cerebral Isquêmico (AVCI), que ocorre quando há escassez do fluxo sanguíneo devido à obstrução de um vaso, e Acidente Vascular Cerebral Hemorrágico (AVCH), caracterizado pelo vazamento de sangue para a região cerebral (Salaudeen *et al.*, 2024).

AVC AVCI, uma das formas mais comuns de AVC, é responsável por cerca de 76% de todos os casos. Essa doença está associada ao aumento da morbidade, causando principalmente edema cerebral, inflamação arterial e aterosclerose intracraniana (Shehjar *et al.*, 2023), o que a torna uma complicação grave. Pode ainda provocar problemas no sistema neurológico, aumento da pressão intracraniana e formação de hérnias no cérebro (Gu *et al.*, 2022). Além da lesão primária, o paciente pode apresentar lesões secundárias, como excitotoxicidade do glutamato, degradação da barreira hematoencefálica, angiopatia e ataque de radicais livres (Shehjar *et al.*, 2023). A Figura 1 aponta as características do AVCI e AVCH e os danos causados.

Pacientes que sofrem com um AVC, tendem a passar por diversos problemas para a

Figura 1 – Características do acidente vascular cerebral isquêmico e hemorrágico e danos causados



Fonte: (Shehjar *et al.*, 2023) Adaptado

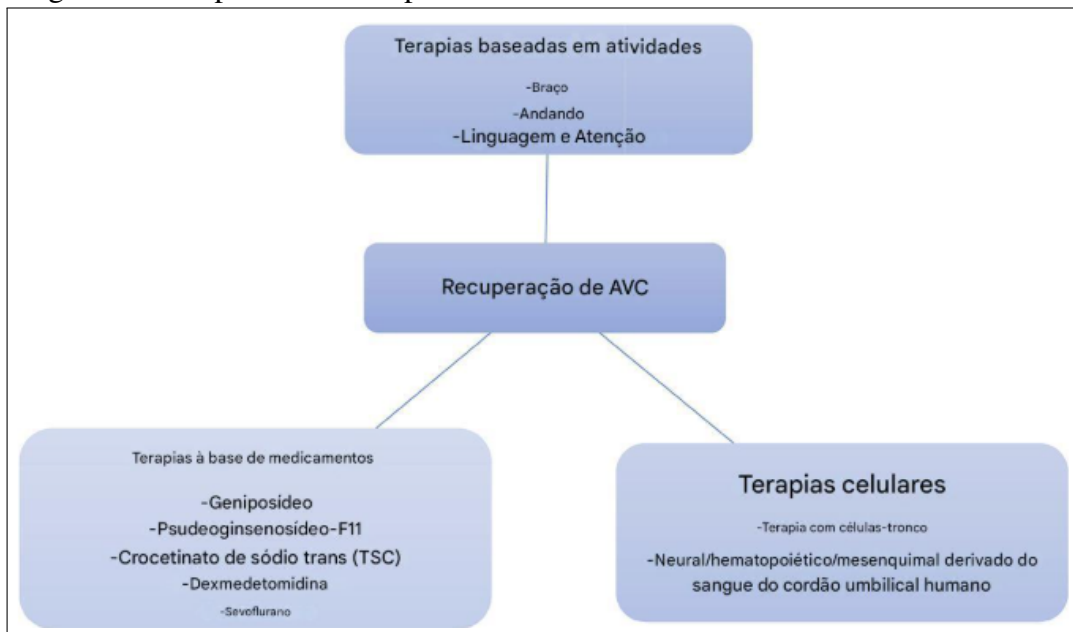
reabilitação, aumentando a morbidade, onde pode causar hérnias no cérebro. Essas condições tendem a causar um impacto significativo na vida dos afetados, pois desencadeiam uma série de efeitos negativos relacionados às atividades funcionais e cognitivas. Como exemplos, os sobreviventes citam o desenvolvimento de ansiedade, depressão, impactos na mobilidade e movimento, no autocuidado, além de fadiga e problemas na comunicação (Jurgens *et al.*, 2022).

Os tratamentos indicados para o AVC buscam tentar recuperar a plasticidade das células cerebrais após o dano causado (Richards; Cramer, 2021). Uma das maiores dificuldades para pacientes pós-AVC é a recuperação da função dos membros. A perda de função desses membros está diretamente ligada à fraqueza muscular, perda da coordenação dos movimentos e alteração no tônus muscular, gerando problemas para o indivíduo, pois está associada à dependência em atividades diárias que eram realizadas antes do AVC (Triccas *et al.*, 2019) (Veerbeek *et al.*, 2011).

A recuperação dos movimentos apresenta muita dificuldade, pois o paciente perde parcialmente sua capacidade cognitiva e motora. Isso ocorre por conta do desequilíbrio relacionado aos neurônios excitatórios e inibitórios. Os tratamentos podem ser divididos em três

tipos de terapias: baseadas em atividades, celulares e medicamentosas. No entanto, nenhuma delas apresenta uma taxa de sucesso de 100%, demonstrando variações e limitações em sua aplicabilidade (Armada-Moreira *et al.*, 2020) (Godecke *et al.*, 2021) (Shehjar *et al.*, 2023). Na Figura 2 é descrito as terapias utilizadas para o tratamento do acidente vascular cerebral.

Figura 2 – Terapias utilizadas para o tratamento do acidente vascular cerebral



Fonte: (Shehjar *et al.*, 2023) Adaptado

Embora ocorra uma reorganização dos neurônios após o AVC, a recuperação natural dos membros superiores apresenta limitação para os tratamentos (Wang *et al.*, 2022). Diante dessa premissa, uma inovação que demonstra relevantes expectativas para recuperar as atividades motoras perdidas é o uso de tecnologias robóticas direcionadas à prática das atividades, sem a intervenção medicamentosa ou celular (Pollock *et al.*, 2014). Essas tecnologias podem se tornar promissoras no desenvolvimento e recuperação das atividades antes realizadas com dificuldades. (Rodgers *et al.*, 2019) sugerem que os membros superiores apresentam atividade melhorada após a intervenção de tecnologias que mimetizam a tarefa repetitiva.

3.1.1 Reabilitação Motora dos Membros Superiores Pós-AVC

O impacto do AVC é profundo, afetando cerca de 75% das pessoas que sobrevivem, o que leva a sequelas permanentes. Os membros superiores são uma das regiões mais afetadas, diminuindo significativamente a qualidade de vida (Tseng *et al.*, 2024). A reabilitação motora desses membros tende a ser um desafio para os pacientes pós-lesão pelo AVC, pois existem

determinantes que afetam diretamente essa reabilitação, entre eles, a necessidade de longo prazo e grandes esforços para adquirir uma possível evolução (Hill *et al.*, 2017).

Os tratamentos convencionais direcionados à reabilitação normalmente dependem da atividade motora residual do indivíduo. Por isso, a recuperação é difícil e necessita de outros métodos para obter alguma taxa de sucesso. Uma pequena parcela de pacientes ainda consegue recuperar os movimentos após os tratamentos convencionais; no entanto, essa quantidade é baixa em relação aos afetados que não recuperam a movimentação dos membros superiores (Mehrholtz *et al.*, 2018) (Veerbeek *et al.*, 2017).

Existem terapias comumente utilizadas para tratar clinicamente as lesões, como a terapia de movimento induzida por restrição. Essa tecnologia baseia-se em dois pilares: o fortalecimento dos membros superiores paralisados com um treinamento específico com duração de 6 horas por dia, e a restrição do membro menos afetado com luvas para focar no membro mais prejudicado, com cerca de 90 horas de duração em vigília (Kwakkel *et al.*, 2015). Além disso, o uso de atividades focadas na resistência tem sido amplamente empregado para a reabilitação, onde os pacientes tratados apresentam reintegração na vida diária e independência dos movimentos, demonstrando qualidade de vida melhorada (Veldema; Jansen, 2020).

3.2 Tecnologias de Reabilitação

As dificuldades apresentadas pelos tratamentos convencionais dos membros superiores no AVC contribuem para a perda de motivação dos pacientes, o que resulta na necessidade de novas terapias que combinem funcionalidade e motivação (Dias *et al.*, 2019). Atualmente, o uso de tecnologias é uma área de pesquisa importante para a recuperação dos movimentos pós-AVC. Um exemplo é a realidade virtual, que contribui tanto para a movimentação quanto para a repetição, trazendo benefícios ligados à neuroplasticidade. Essas tecnologias focam amplamente na fraqueza muscular, um dos pontos mais afetados durante e após o AVC (Al-Whaibi *et al.*, 2022) (Ekstrand *et al.*, 2016).

Nos últimos anos, houve um aumento nos investimentos direcionados às pesquisas sobre o desenvolvimento de tecnologias. Os dispositivos robóticos são uma das classes dessas tecnologias mais estudadas, pois promovem a reabilitação para os membros superiores a partir de sua aplicabilidade (Bertani *et al.*, 2017). Essa aplicação é facilitada por um conjunto de fatores, como a flexibilidade do robô com as variações de grau de liberdade, apresentando versatilidade em sua utilização (Tseng *et al.*, 2024).

O uso desses equipamentos ainda apresenta desafios, desde o custo elevado até as dificuldades para alcançar uma reabilitação comparável à convencional (Veerbeek *et al.*, 2017). No entanto, a aplicação dessas tecnologias tem se mostrado eficaz para a recuperação dos membros superiores após as lesões causadas pelo AVC. O *design* de aparelhos tecnológicos, como as luvas inteligentes, prioriza a aplicabilidade e a simplicidade durante a utilização, permitindo que os indivíduos as utilizem sem a necessidade de um treinamento amplo e demorado (Guo *et al.*, 2022).

3.2.1 Tecnologia Assistiva

A TA é definida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como um superconjunto de tecnologias que visam manter e melhorar a função dos sentidos implementados no corpo, como mobilidade, autocuidado e bem-estar. Essa definição abrange desde soluções de *hardware* e *software* até aplicações em robótica e sistemas de Inteligência Artificial (IA). A compreensão e o uso da TA têm um impacto positivo direto na vida dos pacientes, pois atuam sobre suas habilidades funcionais, incluindo o uso seguro e efetivo de tecnologias para auxiliar na recuperação (Sommer *et al.*, 2025).

A aplicabilidade da TA na área da saúde é significativa, pois pode facilitar o fluxo de informações com rapidez e precisão. Isso melhora a coordenação interna, a colaboração e a comunicação entre os setores de saúde (Ghazal *et al.*, 2021). Além disso, a TA é crucial para o monitoramento de pacientes. O uso de sensores, por exemplo, pode aumentar a segurança ao possibilitar a verificação contínua da saúde do paciente e evitar erros. Isso, por sua vez, aumenta a eficiência e a velocidade na determinação da causa de problemas, no tratamento e nas perspectivas futuras (Jayousi *et al.*, 2024).

A OMS destaca através do Relatório Global do Fundo das Nações Unidas para a Infância sobre Tecnologia Assistiva publicado em 2022, a importância da TA:

Aqueles que precisam de tecnologia assistiva incluem, entre outros: pessoas com deficiência; idosos; pessoas com doenças transmissíveis e não transmissíveis, incluindo doenças tropicais negligenciadas; pessoas com problemas de saúde mental; e pessoas com declínio funcional gradual ou perda de capacidade intrínseca. A necessidade de tecnologia assistiva também aumenta na maioria das crises humanitárias. (OMS, 2022, p. 9).

Isso destaca a importância da aplicação de TA em diversos aspectos da saúde do indivíduo. A TA pode ser utilizada em conjunto com conhecimentos e habilidades relacionadas a produtos de assistência, como sistemas e serviços, abrangendo desde dispositivos, equipamentos,

instrumentos até *software*. Dessa forma, a TA se torna um subconjunto da tecnologia em saúde (OMS, 2022).

Enquanto isso, a Organização Internacional para Padronização de Produtos Assistivos (ISO) define as tecnologias assistivas como produtos auxiliares que podem facilitar e acelerar as funções das pessoas, reduzindo fatores relacionados à incapacidade (ISO, 2022).

Esses produtos podem ser apresentados como assistivos prioritários. São produtos com alta taxa de necessidade, visando melhorar a funcionalidade de diferentes indivíduos e com aplicação individual. Consequentemente, também é importante considerar um preço justo para que a comunidade e o estado possam arcar com os custos (Austin *et al.*, 2022).

O desenvolvimento de TA é uma prioridade fundamental, especialmente para pessoas vulneráveis que apresentam algum tipo de deficiência, seja ela cognitiva ou física. Isso inclui indivíduos que necessitam de auxílio para se movimentar, comer, vestir-se e realizar atividades básicas do dia a dia, como o autocuidado. Com o uso da TA, a expectativa de vida de indivíduos com deficiência pode aumentar, oferecendo-lhes uma vida com mais segurança e autonomia (Bourbakis *et al.*, 2021).

A Tabela 1 traz a classificação das Tecnologias Assistivas e a sua aplicação, elas são importantes parâmetros para determinar a necessidade que deve ser utilizada para o processo de inclusão a partir dos distintos tratamentos, onde pode trazer às pessoas com deficiência um bem-estar inclusivo na sociedade. A TA utilizada como base para o desenvolvimento deste trabalho é a categoria de auxílios para a vida diária e vida prática, pois as atividades são comprometidas após o AVC, deixando o paciente sem a função normal dos seus membros.

Tabela 1 – Classificação das Tecnologias Assistivas

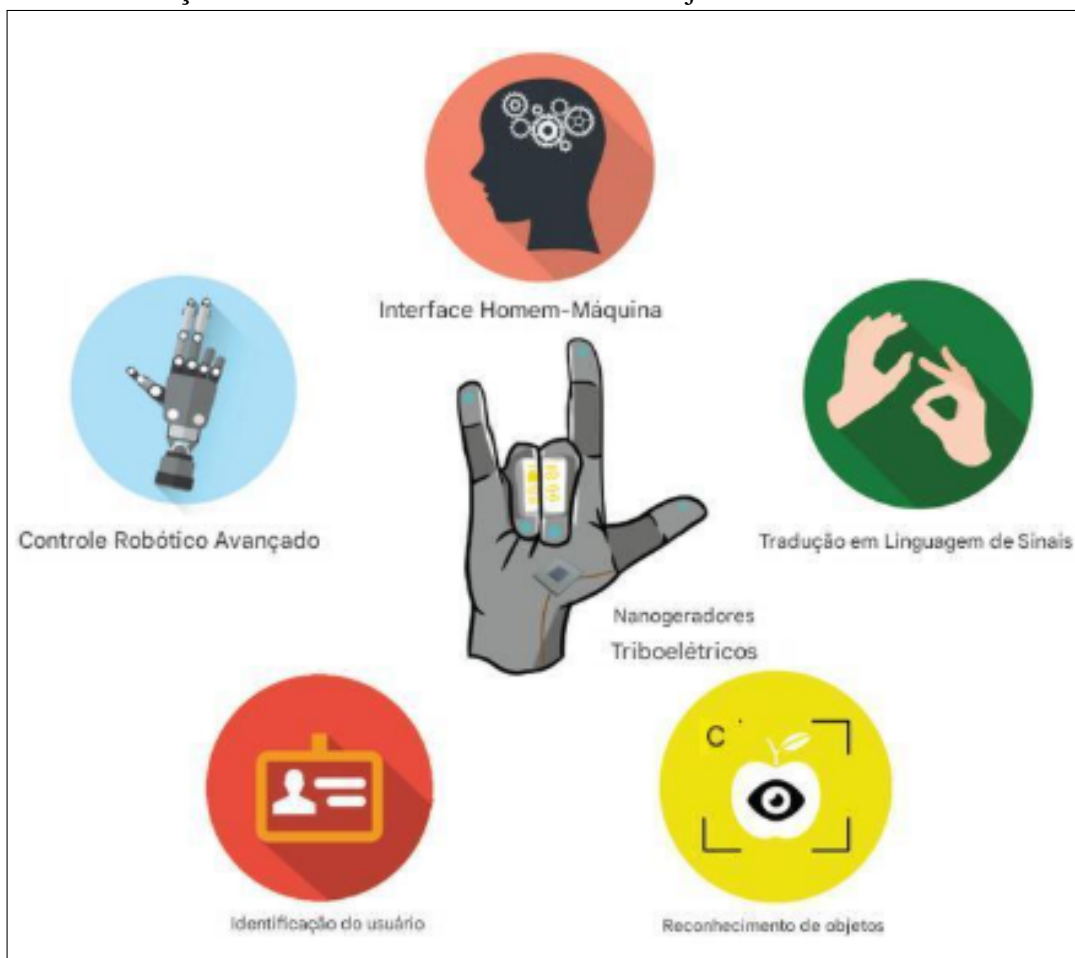
Classificação	Aplicação
Auxílios para a vida diária e vida prática	Materiais e produtos que promovem a autonomia e independência em tarefas diárias, ou que auxiliam no cuidado de pessoas dependentes em atividades como se alimentar, cozinhar, vestir, tomar banho e realizar necessidades pessoais.
CAA	Recursos para apoiar pessoas que não conseguem falar ou escrever de forma funcional, ou que têm dificuldade em expressar o que precisam e em compreender. Pranchas de comunicação, que utilizam símbolos gráficos (como BLISS, PCS) ou palavras escritas, são ferramentas importantes para que o usuário da CAA consiga comunicar suas ideias, vontades, emoções e compreensões.
Recursos de acessibilidade ao computador	Conjunto de <i>hardware</i> e <i>software</i> projetado para tornar o computador acessível a pessoas com deficiências sensoriais (visuais e auditivas), intelectuais e motoras. Ele engloba dispositivos de entrada (como <i>mouses</i> , teclados e acionadores especializados) e dispositivos de saída (como sons, imagens e informações táteis).
Sistemas de controle de ambiente	Com um controle remoto, pessoas com limitações motoras podem ligar, desligar e ajustar diversos aparelhos eletroeletrônicos, como luzes, sons, televisores e ventiladores. Elas também conseguem abrir e fechar portas e janelas, fazer e receber chamadas telefônicas, e ativar sistemas de segurança, tudo isso de qualquer lugar na casa, como quarto, sala, escritório e arredores.
Projetos arquitetônicos para acessibilidade	São projetos arquitetônicos e urbanísticos que asseguram acesso, funcionalidade e mobilidade para todas as pessoas, independentemente de suas condições físicas ou sensoriais.
Órteses e próteses	Próteses são peças artificiais que substituem partes ausentes do corpo.
Adequação Postural	Ter uma postura estável e confortável é fundamental para que se consiga um bom desempenho funcional.
Auxílio de Mobilidade	A mobilidade pode ser auxiliada por bengalas, muletas, andadores, carrinhos, cadeiras de rodas manuais ou elétricas, <i>scooters</i> e qualquer outro veículo, equipamento ou estratégia utilizada na melhoria da mobilidade pessoal.
Auxílios para ampliação da função visual e recursos que traduzem	Auxílios ópticos, lentes, lupas manuais e lupas eletrônicas; os <i>softwares</i> ampliadores de tela. Material gráfico com texturas e relevos e mapas.
Conteúdos visuais em áudio ou informação tátil	Gráficos táteis, <i>software</i> OCR em celulares para identificação de texto informativo, etc.
Auxílios para melhorar a função auditiva e recursos utilizados para traduzir os conteúdos de áudio em imagens, texto e língua de sinais.	São auxílios tecnológicos que englobam diversos equipamentos como infravermelho e FM, aparelhos auditivos, sistemas de alerta tátil-visual, celulares com mensagens escritas e chamadas por vibração. Incluem também <i>softwares</i> que facilitam a comunicação telefônica, convertendo texto digitado em voz e mensagens faladas em texto.
Mobilidade em Veículos	São acessórios que permitem a pessoas com deficiência física dirigir automóveis. Inclui facilitadores de embarque e desembarque, como elevadores e rampas para cadeiras de rodas (usados em veículos particulares ou de transporte coletivo), além de serviços de autoescola especializados para pessoas com deficiência.
Esporte e Lazer	Recursos que favorecem a prática de esporte e participação em atividades de lazer.

Fonte: Adaptado de (Al-Whaibi *et al.*, 2022)

3.3 Luvas Inteligentes

As luvas inteligentes são caracterizadas como protótipos para detecção de movimento, utilizando sensores flexíveis para determinar a orientação, ângulo e aceleração das mãos (Shen *et al.*, 2022). Essa tecnologia é empregada em diversas aplicações ligadas à engenharia, sendo muito considerada para fins de reconhecimento da linguagem de sinais (Sundaram *et al.*, 2019). Além disso, pode ser usada para monitorar a postura da mão (Glauser *et al.*, 2019) para detecção de movimentos no desenvolvimento de técnicas vinculadas à realidade virtual (Li *et al.*, 2020), e, por fim, para a detecção da força das mãos, visando determinar tratamentos para a área biomédica (Spilz *et al.*, 2019). A Figura 3 aponta a utilização de luvas inteligentes aplicadas em diferentes propósitos.

Figura 3 – Luvas inteligentes usadas para uma variedade de propósitos, incluindo tradução de linguagem de sinais, IHM, controle robótico avançado, identificação de usuários e reconhecimento de objetos.



Fonte: (Shen *et al.*, 2022) Adaptado

Esses protótipos são construídos para suportar o rastreamento dos movimentos

dos dedos e mãos, reconhecendo os gestos a partir de sensores instalados nas luvas, como os de pressão, *flex* e campo magnético. Ademais, acelerômetros e giroscópios também são incorporados. Esses movimentos são capturados por marcadores reflexivos que se ligam à musculatura esquelética das mãos (Leite *et al.*, 2024). Tais sensores são essenciais para a área da saúde, pois podem oferecer aos pacientes novas opções terapêuticas para tratar os danos causados por doenças neurológicas, como o AVC, tornando-se um tratamento efetivo, utilizado para o controle e condução dos movimentos que auxiliam no pós-lesão (Khoshmanesh *et al.*, 2021) (Matsiko, 2024) (Tseng *et al.*, 2024) (Yu *et al.*, 2020).

As luvas apresentam uma atividade baseada no princípio de atuação ativa, onde a força é aplicada aos dedos para que o movimento seja realizado, fornecendo ativamente a movimentação das mãos, além da força de resistência em conjunto com a captura de movimento (Caeiro-Rodríguez *et al.*, 2021). Diante desses fatos, o desenvolvimento e a utilização de luvas inteligentes representam uma terapia promissora para a reabilitação dos membros superiores, principalmente das mãos, pois ocorre uma estimulação elétrica funcional através da manipulação oferecida pela tecnologia, direcionada ao uso de ferramentas e atividades comumente utilizadas e realizadas, promovendo assim um controle motor efetivo (Ase *et al.*, 2025).

Restaurar a função motora dos membros superiores é um dos fatores mais importantes para pacientes acometidos pós-AVC. Por isso, a eletroestimulação oferecida pelo conjunto de sensores que formam a luva inteligente é crucial para a evolução dessas terapias. Ela se baseia nos fatores de regularidade, repetibilidade e intensidade dos movimentos realizados, restaurando assim a base das redes neurais distribuídas pelo sistema nervoso (Korzeniewska *et al.*, 2020).

3.3.1 Sistemas Embarcados

Sistemas embarcados são sistemas de computador projetados com uma função especializada para executar atividades específicas, sendo compostos por *software* e *hardware*. Embora o desenvolvimento de sistemas embarcados não seja um campo novo na pesquisa científica, muitos autores os apontam como ferramentas cruciais para otimizar e agilizar diversos tipos de produção e atividades (Kaisti *et al.*, 2013).

Contudo, existem dois desafios principais na produção desses sistemas:

1. A natureza lenta do desenvolvimento de *software* e *hardware*;
2. A especialização da equipe nas atividades desses sistemas.

Apesar desses desafios, os benefícios do uso de sistemas embarcados são notáveis.

Eles incluem melhor produtividade, a capacidade de gerenciar diversos tipos de atividades e objetivos, e a flexibilidade para adaptar-se a mudanças de prioridades. Além disso, a implementação desses sistemas frequentemente resulta em uma melhora na moral e na comunicação entre a equipe de desenvolvimento (Könnölä *et al.*, 2016).

3.3.1.1 Sensores Flexíveis

Com o avanço tecnológico, a implementação de sensores flexíveis tem se expandido significativamente, especialmente em áreas cruciais como a saúde (incluindo prevenção de doenças e monitoramento de esportes), avaliação do condicionamento físico e análise de propriedades mecânicas. Sua portabilidade e versatilidade são características notáveis. Esses sensores são responsáveis por integrar e detectar sinais fisiológicos do corpo e podem ser usados por longos períodos em diversas aplicações sem métodos invasivos (Gong *et al.*, 2025).

Os benefícios diretos da aplicação desses sensores incluem:

- *Design* leve;
- Detecção de movimentos;
- Monitoramento da saúde;
- Reconhecimento da fala
- Interação Humano-Computador (IHC)

Eles têm a capacidade de reverter atividade mecânica que é aplicada sobre o sensor em mudança no sinal de resistência. Essas matrizes podem suportar desde deformações significativas até as mais simples, tornando-se potenciais para aplicação em diversos parâmetros que necessitam de uma durabilidade e flexibilidade (Chao *et al.*, 2020) (He *et al.*, 2024). Na Figura 4, demonstra princípios básicos de funcionamento de sensores de deformação flexíveis e aplicações emergentes de bio-sinais fisiológicos no corpo humano.

As aplicações dos sensores flexíveis geram um grande impacto em diversas áreas, incluindo IHM, diagnósticos médicos, monitoramento de movimentos específicos e na atuação de protótipos robóticos. Esses sensores são construídos com materiais elásticos e contêm elementos que detectam uma variedade de atividades, dependendo do seu uso (Lu *et al.*, 2023) (Shi *et al.*, 2022). A capacidade de verificar e monitorar os sinais de indivíduos é um fator crucial para o desenvolvimento desses sensores. Dessa forma, a tensão e o esforço exercidos por esses dispositivos podem ser acompanhados, permitindo um tratamento mais eficaz (Shen *et al.*, 2022).

Figura 4 – Princípios básicos de funcionamento de sensores de deformação flexíveis e aplicações emergentes de bio-sinais fisiológicos no corpo humano.



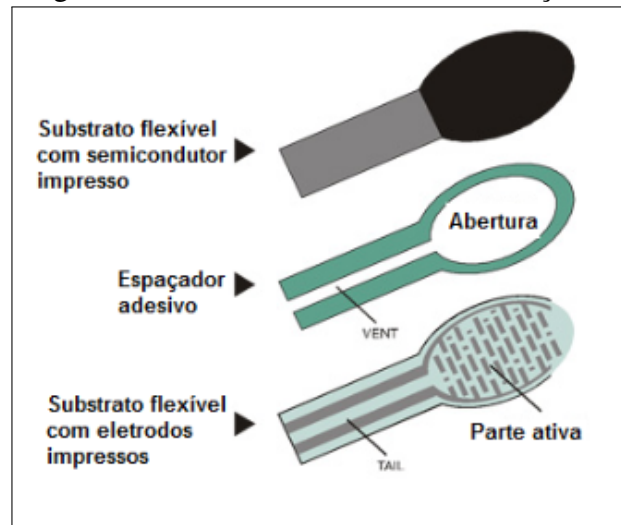
Fonte: (Shen *et al.*, 2022) Adaptado

3.3.1.2 Sensores de Força

Os sensores de força são amplamente utilizados devido à sua capacidade de medir forças com precisão em pequenas escalas, com vastas aplicações que vão desde a dinâmica de fluidos até a biomecânica (Song *et al.*, 2025). O controle de força é, inclusive, um fator principal em diversas atividades, como no uso de equipamentos manuais (Dong *et al.*, 2025).

Esses sensores são empregados para medir cargas multidimensionais, garantindo a segurança estrutural em tecnologias como máquinas. Eles podem medir diferentes tipos de forças, incluindo forças ortogonais e torque em um espaço tridimensional. Isso ocorre porque a força aplicada sobre um determinado parâmetro tem uma relação direta com a frequência de deslocamento, o que reduz a interferência de outros fatores (Zhao *et al.*, 2025). A figura Figura 5 apresenta a estrutura de um sensor de força.

Figura 5 – Estrutura de um sensor de força.

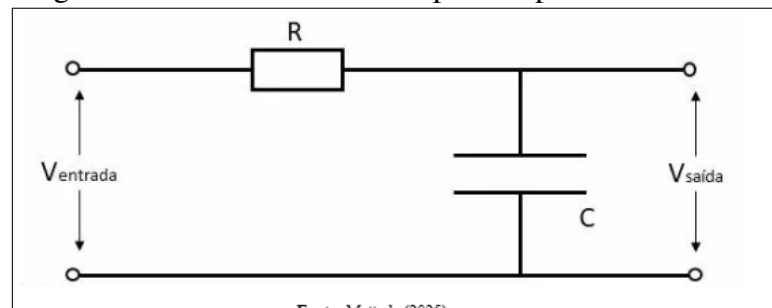


Fonte: (Braga, 2012)

3.4 Filtro Passa-Baixa

Os filtros passa-baixa são utilizados principalmente para remover interferências e ruídos, convertendo os sinais para um conversor. Esses filtros são essenciais para a estabilização da energia fornecida por baterias ou outros coletores de energia, permitindo que a atividade ocorra em baixa tensão e potência sem riscos para o equipamento ou protótipo. Por essa razão, são frequentemente aplicados em diversas tecnologias na área biomédica, especialmente em produtos portáteis. Além disso, o filtro passa-baixa é responsável por filtrar sinais espúrios fora da banda utilizada. Como os sinais biológicos atuam em baixa frequência, o uso desses filtros é crucial (Phatsornsiri *et al.*, 2025). A Figura 6 aponta o circuito de um filtro passivo passa-baixa.

Figura 6 – Circuito de um filtro passivo passa-baixa.



Fonte: (Mattede, 2015)

Circuitos de baixo consumo utilizam fontes de alimentação de baixa tensão. Um exemplo disso são os filtros passa-baixa, que operam em conjunto com tecnologias de baixa voltagem. Além de sua compatibilidade com baixa tensão, esses filtros são importantes para a

conservação de energia, pois funcionam com um custo operacional reduzido e um baixo nível de eletricidade, atuando como um eficiente gerenciador de energia. Os circuitos dos filtros passa-baixa são tipicamente compostos por uma resistência e um capacitor, conectados de forma a dividir e, conseqüentemente, reduzir a tensão (Liu *et al.*, 2020).

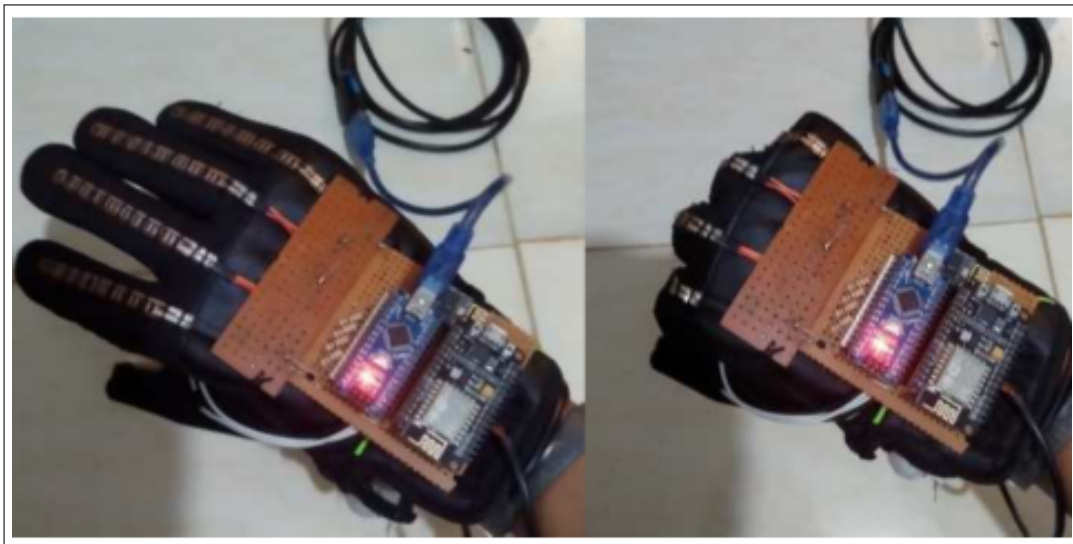
A redução da tensão e do consumo de energia é crucial para o desenvolvimento e *design* dessas tecnologias. É fundamental que esses dispositivos apresentem versatilidade e facilidade de implementação, pois a compactação dos circuitos é um dos principais fatores para o uso de protótipos em aplicações biomédicas, especialmente com tecnologias robóticas. Um dos benefícios de se utilizar esse tipo de circuito é a obtenção de baixas transcondutâncias, que são suficientes para permitir uma grande constância de uso dentro de um espaço razoável (Sawigun; Thanapitak, 2018).

4 TRABALHOS RELACIONADOS

4.1 *IoT-based Flex Sensor Gloves for Immobility Patients: A Prototype*

Em (Zakri *et al.*, 2024), propuseram-se em sua pesquisa a criação de um protótipo de luvas equipadas com sensores de flexão. O objetivo foi aprimorar a comunicação e a interação de pacientes com mobilidade reduzida, oferecendo uma ferramenta inovadora e acessível para que eles possam solicitar assistência e expressar suas necessidades de forma mais independente. Além disso, o projeto incorpora tecnologia de monitoramento de saúde, possibilitando que cuidadores e profissionais da saúde acompanhem em tempo real parâmetros vitais como temperatura e frequência cardíaca. Isso visa promover um cuidado mais eficiente e personalizado para os pacientes. Na Figura 7, é demonstrado um protótipo em teste do sensor flexível.

Figura 7 – Protótipo em teste do sensor flexível.



Fonte: (Zakri *et al.*, 2024)

Esse protótipo foi projetado a partir da instalação de 5 sensores *flex* em sua estrutura, onde foram utilizados para realizar leitura dos sinais emitidos pelos movimentos realizados pelos pacientes. Esses sensores têm a função de detectar o ângulo após a flexão do dedo, processando os dados obtidos em resultados digitais, onde é feita a leitura por equipamentos como o Arduino nano. Foi utilizado também um aplicativo, cuja função era enviar notificação quando o sensor era modificado em relação ao movimento.

Os autores demonstraram que a utilização desse projeto poderia facilitar a vida de pessoas que passaram por processos traumáticos e que as lesões deixadas influenciavam diretamente na sua mobilidade. Onde permite também a comunicação entre o paciente e o

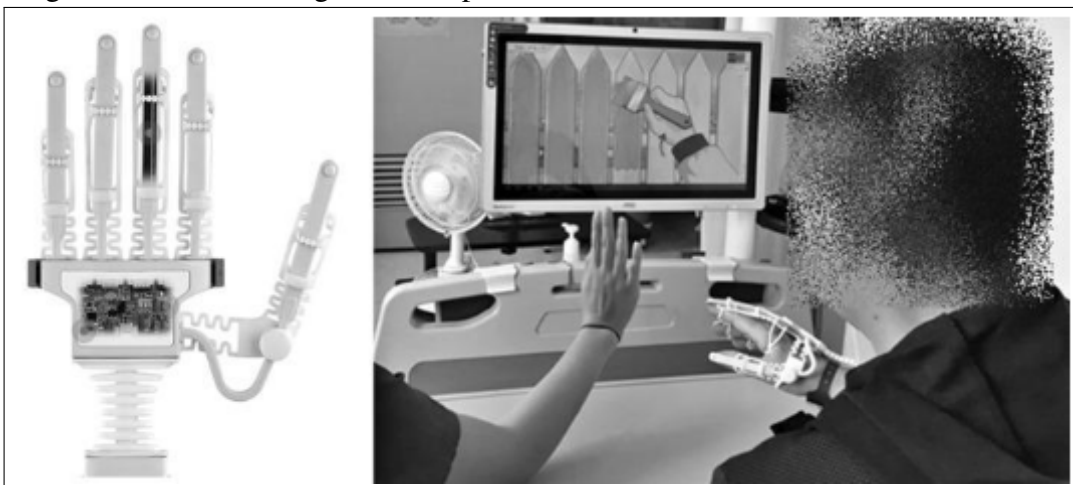
enfermeiro, pois através do aplicativo consegue enviar uma mensagem, ao mesmo tempo que mede a frequência cardíaca e a temperatura, sendo uma tecnologia bastante eficaz e destacando-se na reabilitação dos indivíduos.

4.2 *Effects of Upper-Extremity Rehabilitation Using Smart Glove in Patients With Subacute Stroke: Results of a Prematurely Terminated Multicenter Randomized Controlled Trial*

Nesse estudo, o objetivo dos autores era de analisar o uso das luvas inteligentes aplicadas em um treinamento, para assim analisar a atividade de reabilitação direcionada a indivíduos que passaram por uma lesão pós acidente vascular cerebral subaguda. Foi feito um estudo clínico, onde os pacientes foram submetidos a essa terapia durante um período de 2 semanas consecutivas, a análise foi feita antes da intervenção, imediatamente após, seguido de uma avaliação após o período de quatro semanas.

(Kang *et al.*, 2020), trataram em seu estudo que a reabilitação pós-AVC é fator muito difícil de ser tratado, levando em consideração dois fatores importantes para que ocorra com sucesso, que é o tempo e o a dose. Iniciar a terapia precoce pode tornar a recuperação funcional para tratar esses indivíduos. Por isso, o uso dessa tecnologia pode otimizar a reabilitação através do treinamento do braço através desse protótipo, um dos fatores que impactam seria o princípio de aprendizagem motora do paciente em relação a resposta dada ao estímulo feito, onde o *feedback* e a prática são os principais pontos para obter uma recuperação efetiva. A Figura 8, aponta a luva inteligente sendo utilizada por um paciente em treinamento.

Figura 8 – A luva inteligente e um paciente em treinamento.



Fonte: (Kang *et al.*, 2020)

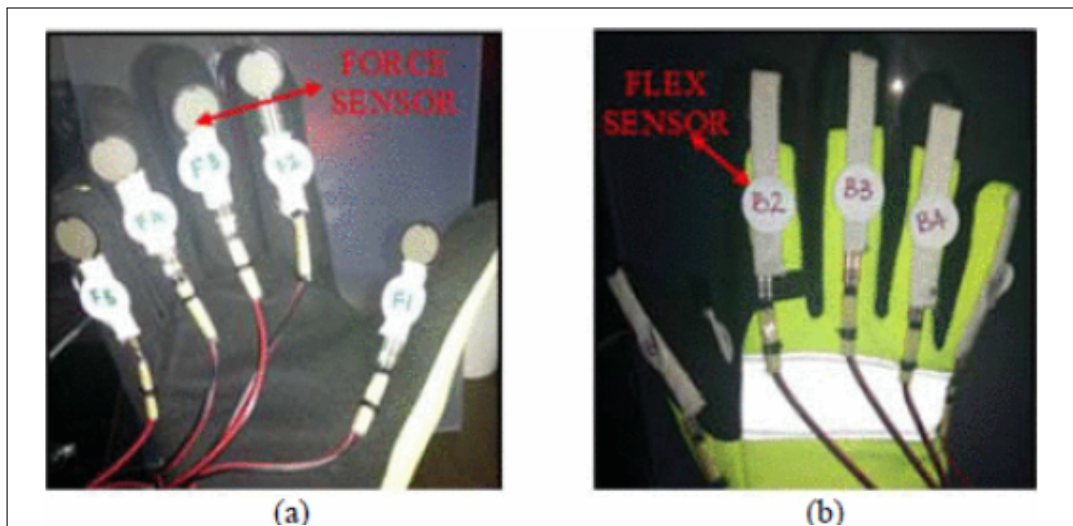
A partir dos testes feitos e com um número limitado da amostra, os autores concluí-

ram que o uso do protótipo baseado em luvas inteligentes pode ser uma terapia efetiva para reabilitação dos membros superiores após um AVC, melhorando os movimentos motores tendo em vista a recuperação de todo o conjunto, incluindo o braço e as mãos na função distal.

4.3 Design of a Low-Cost Instrumented Glove for Hand Rehabilitation Monitoring System

(Ganeson *et al.*, 2016), desenvolveram uma luva instrumentada equipada com sensores flexíveis e sensores de força, onde o principal objetivo era avaliar a atividade dessa luva em pacientes que sofreram AVC e apresentavam dificuldade para a recuperação dos movimentos dos membros superiores. A luva tinha na sua composição um total de 10 entradas, sendo 5 sensores *flex* e 5 sensores de pressão acionados pela resistência dos dedos. Cinco sensores de *flex* foram instalados e a resistência aumentava a decorrer de quanto o sensor era ativado, em que o foco estava no movimento do dedo. Os sensores *flex* eram responsáveis por medir a flexão dos dedos, enquanto o de pressão estava equipada nas pontas dos dedos, sendo ativado quando um objeto era agarrado pelo indivíduo. Na Figura 9 é apresentado a luva instrumentada utilizando resistores de força e flexíveis.

Figura 9 – A luva instrumentada utilizando (a) Resistores Sensíveis da Força; (b) Sensores Flex.



Fonte: (Ganeson *et al.*, 2016)

Nesse protótipo foi utilizado o microcontrolador PIC16F877A, onde foi utilizado para controlar todo o sistema. A luva foi construída complete através de um Sistema de monitorização, onde o objetivo é analisar os movimentos e enviar para um sistema de registro de dados, após isso eram armazenados e enviados para um profissional da saúde responsável pela

recuperação do paciente, assim, esse sistema permite o gerenciamento dos dados e a flexibilidade, focando na atenção ao paciente e a sua reabilitação

4.4 *An IOT based Wearable Smart Glove for Remote Monitoring of Rheumatoid Arthritis Patients*

A pesquisa de (Raad *et al.*, 2019) apresentou como foco principal a doença da artrite reumatoide, classificada como uma comorbidade que afeta as articulações e restringe a movimentação dos membros de indivíduos afetados. Diante disso, foi investigado a utilização de uma luva inteligente que pudesse atuar na reabilitação desses movimentos, principalmente nos movimentos dos dedos ao realizar atividades comumente feitas antes da doença.

A luva foi construída a partir de um material têxtil em conjunto com sensores de flexão e força, foi instalado junto com a plataforma Arduino, com o objetivo de transmitir esses dados para um aplicativo, analisando todos os resultados. Esse protótipo também foi utilizado para auxiliar no monitoramento do movimento dado ao estímulo da medicação ou do movimento realizado. Esses dados coletados, podem ser uma fonte de informações para direcionar os profissionais de saúde para verificar as atividades terapêuticas e seus possíveis resultados, sendo utilizado como forma classificar e planejar os exercícios. A Figura 10 aponta um protótipo.

Figura 10 – Protótipo de luva inteligente.



Fonte: (Raad *et al.*, 2019)

Os resultados demonstraram que a utilização desse protótipo podem se tornar uteis para monitorar os movimentos dos pacientes de forma remota, em que eles não teriam a necessidade sair da sua residência, além disso, o sistema permite que os médicos possam realizar o diagnostico eficaz e identificar possíveis fatores que afetem o indivíduo, como exemplo a rigidez

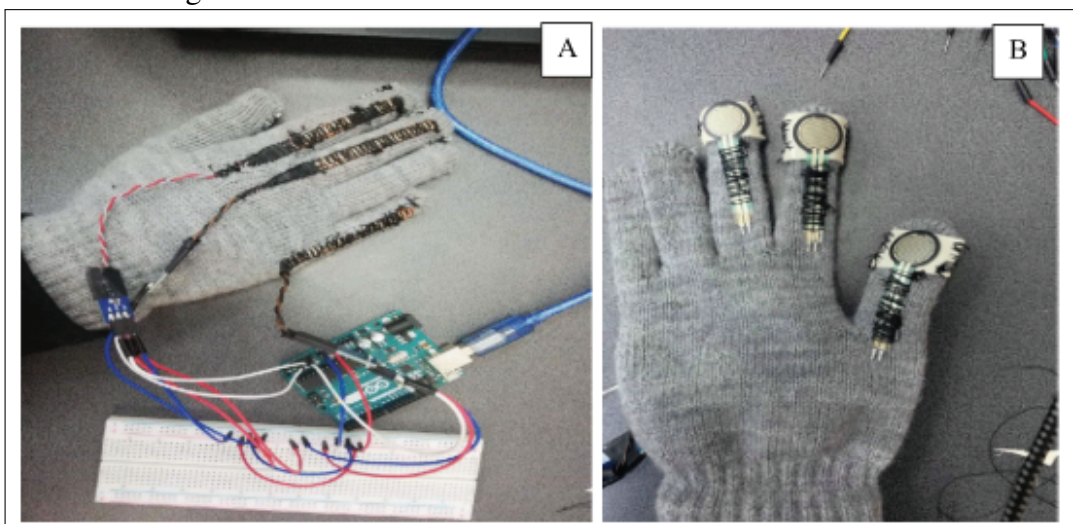
articular. Todos esses dados podem ser obtidos através de um aplicativo, fornecendo as leituras dos sensores de flexão e pressão, sem a necessidade do ambiente hospitalar.

4.5 *Intelligent Glove for Rehabilitation of Hand Movement in Stroke Survivor*

A integração de sistemas robóticos na reabilitação da função motora de pacientes após AVC tem demonstrado ser uma terapia bastante promissora. É cientificamente comprovado que o uso de metodologias direcionadas a movimentos ativos é importante para a recuperação e o uso robótico pode ativar diretamente esse mecanismo ativo. Por isso, estudo propôs construir um dispositivo para ser utilizado como terapia na reabilitação dos membros superiores, influenciando no tempo reduzido para recuperar tais movimentos.

A luva foi construída a partir de três sensores de pressão, os quais foram colocados no dedo indicador, polegar e médio. Esses sensores tinham o papel de medir a pressão que era feita pelos indivíduos para a captura de objetos. Essa pressão é importante para a analisar a aderência do paciente, pois esse movimento indica a atividade dos membros, podendo ser utilizado para analisar o reflexo e conjunto com a ação. É apontado na Figura 11, os componentes da luva inteligente com sensores de medição articular e sensores de pressão.

Figura 11 – Componentes da Luva Inteligente (A) Sensores de medição do ângulo articular na parte de trás da luva inteligente. (B) Sensores de pressão na parte frontal da luva inteligente.



Fonte: (Luca *et al.*, 2020)

Além disso, acompanhado ao protótipo, os autores desenvolveram um tipo de jogo, em que o principal objetivo era estimular o paciente através de ambiente inovador, sendo possível aplicar os movimentos realizados com a luva para assim possibilitar uma reabilitação. O

indivíduo ao realizar o movimento pedido no jogo recebe uma mensagem positiva, ao contrário, pode receber uma mensagem “bravo”, caso seja feito incorreto ou incompleto, caso ele consiga realizar todas as etapas, o jogo será finalizado. Isso pode ser classificado como uma terapia promissora para reabilitar os pacientes debilitados tanto físico, quanto mental.

4.6 *An Internet of Things-enabled smart glove for brain stroke rehabilitation*

(Dhiman; Kumar, 2025) desenvolveram um protótipo de luva inteligente com o objetivo auxiliar na reabilitação de pacientes que passaram por um acidente vascular cerebral e sofreram danos em seus movimentos. A luva foi construída era composto com sensores de força, 5 *flex* e um sistema com um sensor Max30100 e um microcontrolador ESP32. Todo a composição da luva foi pensado para que ela pudesse monitorar e auxiliar na movimentação da flexão dos dedos e na força ao pegar um objeto.

A luva era acompanhada por um sistema configurado para visualização dos dados em tempo real, onde apontava parâmetros relacionados a força e a flexão exercida sobre o protótipo. Os resultados demonstraram que a luva pode ser tornar uma tecnologia promissora pois foca em uma solução para a reabilitação dos membros afetados pelo AVC, além disso, consegue monitorar através dos dados em tempo real, um ponto importante para possíveis decisões médicas pelos dados coletados.

As qualidades apontadas incluem em um produto econômico, não invasivo e que consegue ser utilizado facilmente pelos pacientes com a finalidade de trazer para os indivíduos uma qualidade de vida. Esse protótipo tem como objetivo e ser incluído no mercado de trabalho após os testes em humanos, onde pode ser instalados outros diversos sensores para avaliar outras determinantes, para assim avaliar diferentes parâmetros da saúde e outros microcontroladores também podem ser instalados para analisar o comportamento do produto. A plataforma Things-Board foi utilizada para permitir a coleta e análise dos dados, comparando os padrões obtidos pelos sensores e senso de ferramenta para ajudar no tratamento para reabilitação dos membros que estavam com danos.

4.7 *Análise Comparativa*

Assim como (Zakri *et al.*, 2024), este trabalho busca desenvolver um protótipo para a reabilitação dos movimentos dos membros superiores. Entretanto, na composição da luva

Figura 12 – Protótipo de luva inteligente, (a) circuito interconectado de 5 sensores flexíveis (b) circuito interconectado de 5 sensores flexi-força (c) fixa ambos os circuitos em conjunto em uma luva de algodão (d) circuito de interconexão com sensor Max30100, tela OLED e botão (e) conectar bateria lipo com versão anterior da tela OLED de correção cicuit (f) e botão com capa de tela impressa 3D na versão final do protótipo de luva inteligente.



Fonte: (Dhiman; Kumar, 2025)

também foram equipados sensores de temperatura em conjunto com sensores de oxímetro. Com o objetivo de levar ao paciente segurança. Além disso, foi utilizado um aplicativo para transmissão de informação entre o equipamento e a base de dados Arduino UNO. O protótipo consegue demonstrar os resultados para os enfermeiros, permitindo que a necessidade dos pacientes seja atendida rapidamente.

No estudo de (Kang *et al.*, 2020), também foi apresentado o objetivo de desenvolver uma luva inteligente para a recuperação dos membros superiores em pacientes com AVC subaguda. Foi feito um estudo clínico com cerca de 23 pacientes, tendo como resultados que o uso desses tipos de protótipo pode reduzir a incapacidade de movimentação das extremidades superiores. Correlacionado com este trabalho, a luva também possui sensores de flexão, visto que existe uma diferença na presença de sensores no pulso para análise do movimento feito. Todos os dados eram transmitidos para um aplicativo que realiza a leitura desses dados.

No mesmo parâmetro de pesquisa, o autor (Ganeson *et al.*, 2016), avaliou uma luva instrumentada de baixo custo para facilitar a reabilitação das mãos após o acidente vascular

cerebral, entretanto, eles utilizaram o microcontrolador do tipo PIC16F8771, tendo cerca de 5 sensores flexíveis e 5 sensores de resistência de força. Esse controlador foi utilizado pelo seu preço baixo e fácil de utilizar. Foi analisada a atividade de pegar um objeto e realizar força, seguida do movimento de soltar o mesmo. Da mesma forma neste trabalho, os dados foram coletados e enviados para o computador, onde foram tabulados no excel e expressados em gráficos.

Diferente do nosso estudo, cujo objetivo foi desenvolver uma luva inteligente para reabilitar indivíduos que sofreram danos causados pelo acidente vascular cerebral e o movimento dos membros superiores ficou comprometida, no projeto de (Raad *et al.*, 2019), os danos estudados foram em decorrência da artrite reumatoide. A luva desenvolvimento também foi produzida através de matéria têxtil, onde foi utilizado sensores de flexão e força, além disso, foi utilizado a plataforma Arduino para a coleta de dados. O trabalho sendo desenvolvido para auxiliar na recuperação dos movimentos, também contribuiu para o monitoramento da resposta a determinados medicamentos e aos movimentos que eram realizados.

Assim como (Luca *et al.*, 2020), nosso protótipo também foi direcionado a pessoas que passaram pelo AVC, além disso, os autores também analisaram parâmetros importantes que estão presentes nesse estudo, os quais são, a flexão e a força que o paciente apresentava. Entretanto, foram colocados somente três sensores de pressão que foram fixados no polegar (1), no indicador (2) e no médio (3), na parte frontal da mão. Ademais, eles programaram os movimentos em conjunto com um aplicativo, para assim, induzir o esforço dos pacientes para completar o movimento.

Tabela 2 – Análise comparativa entre trabalhos relacionados a esta pesquisa

Trabalhos Relacionados	Patologia	Tipo de estudo	Microcontrolador	Avaliação
(Zakri <i>et al.</i> , 2024)	AVC	Pré-Clínico	Arduino-Nano	Laboratório
(Kang <i>et al.</i> , 2020)	AVC	Clínico	Não Descrito	Usuários Acometidos
(Ganeson <i>et al.</i> , 2016)	AVC	Pré-Clínico	PIC16F877A	Laboratório
(Raad <i>et al.</i> , 2019)	Artrite	Pré-Clínico	Arduino Lilypad	Laboratório
(Luca <i>et al.</i> , 2020)	AVC	Pré-Clínico	Arduino	Laboratório
(Dhiman; Kumar, 2025)	AVC	Pré-Clínico	ESP32	Laboratório
Este trabalho	AVC	Pré-Clínico	ESP-WROOM-32	Laboratório

Fonte: Elaborada pelo autor.

Assim como (Dhiman; Kumar, 2025), este trabalho também se propôs a desenvolver um protótipo com o objetivo de auxiliar na recuperação de pacientes que passaram pelo AVC e tiveram movimentos afetados. O protótipo do trabalho deles também era constituído por sensores

de flexão e de força, entretanto foi utilizado um microcontrolador diferente deste trabalho e eles analisaram outros parâmetros relacionados à saúde do indivíduo utilizando uma base de dados chamada ThingsBoard, que permite que os profissionais de saúde tenham os dados em tempo real, obtendo informações concretas e diretas.

Na Tabela 2, é destacado algumas características dos trabalhos relacionados que estão descritos nesse trabalho

É possível analisar nos estudos, diferenças relacionadas a este trabalho, como exemplo principal, os tipos de microcontrolador, em que alguns estudos apontam o uso do tipo Arduino, diferentemente deste estudo. Entretanto, apresentam similaridades quando analisados os seus objetivos relacionados ao tipo de doença pesquisada, menos o trabalho de (Raad *et al.*, 2019), que teve como foco a artrite reumatoide, podemos analisar também na tabela, a relação do tipo de estudo, em que o único que diferenciou-se deste estudo foi (Kang *et al.*, 2020), o qual realizou um estudo clínico. Os trabalhos apresentam similaridades quando analisado os tipos de sensores utilizados, mantendo uma semelhança com o uso dos sensores flexíveis, sensores de pressão e força.

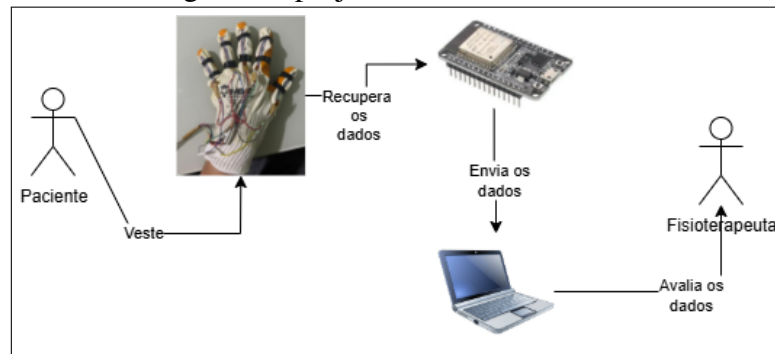
5 METODOLOGIA

Nesta sessão, será descrito os passos seguidos para o desenvolvimento do protótipo, citando o progresso de construção e validação.

5.1 Visão Geral

Para iniciar o projeto, os componentes foram selecionados baseados na disponibilidade, recursos *online* e compatibilidade com a programação. Isso permitiu projetar o circuito e implementar funções que atendessem os objetivos previstos. A ilustração da Figura 13 demonstra a utilização do protótipo proposto.

Figura 13 – Visão geral do projeto.

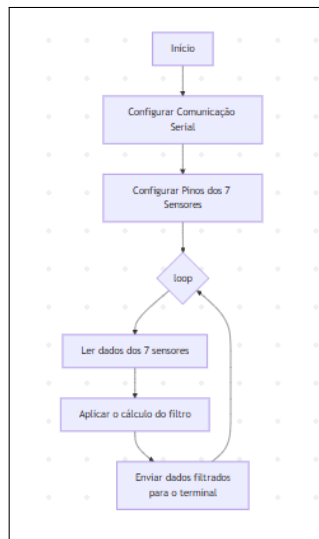


Fonte: Próprio autor

5.2 Algoritmo

A Figura 14 apresenta o fluxograma que descreve as etapas envolvidas na aquisição e no processamento dos sinais provenientes dos sensores acoplados à luva inteligente. Inicialmente, foi realizado a configuração da comunicação, responsável pelo envio dos dados processados para o terminal de monitoramento. Em seguida, procede-se à configuração dos pinos correspondentes aos sete sensores integrados ao sistema cinco sensores *flex* (um para cada dedo) e dois sensores de força localizados nos dedos indicador e anelar.

Figura 14 – Fluxograma com etapas do processamento dos sinais descritos.



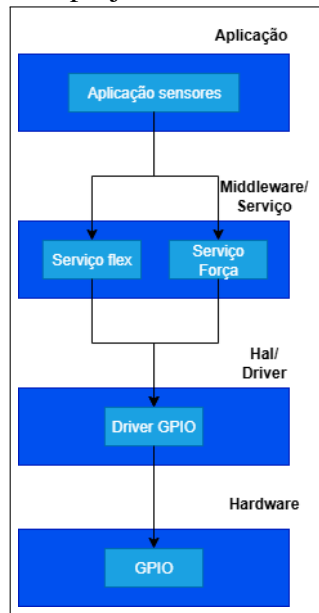
Fonte: Próprio autor

Após a fase de inicialização, o sistema entra em um laço de repetição contínuo, no qual os dados dos sensores são lidos. Os sinais adquiridos passam então por uma etapa de filtragem, cujo objetivo é reduzir ruídos e garantir maior precisão na leitura dos valores. Por fim, os dados filtrados são enviados ao terminal, permitindo o monitoramento em tempo real dos movimentos e da força aplicada por cada dedo da mão direita.

5.3 Arquitetura

A Figura 15 mostra a arquitetura de serviços do projeto em questão. Como o propósito do protótipo em questão é recuperar os movimentos e a força dos dedos do usuário, por meio dos sensores, ele foi dividido em dois serviços principais que utilizam do mesmo *driver* e, conseqüentemente, do mesmo *hardware*, o que muda para cada um dos sensores é apenas a porta que está sendo lida.

Figura 15 – Arquitetura do projeto.



Fonte: Próprio autor

A arquitetura do protótipo da luva inteligente foi construída utilizando um microcontrolador ESP-WROOM-32 como unidade central de processamento. Microcontrolador é usado para controlar todo o sistema. O ESP-WROOM-32 integra um chip ESP32-D0WDQ6, que possui um processador Xtensa® dual-core de 32 bits LX6, operando com frequência de até 240 MHz. Essa capacidade de processamento é crucial para lidar com a leitura de múltiplos sensores e o processamento de dados em tempo real, como seria o caso de uma luva inteligente que pode monitorar movimentos e pressão.

Figura 16 – Microcontrolador ESP-WROOM-32

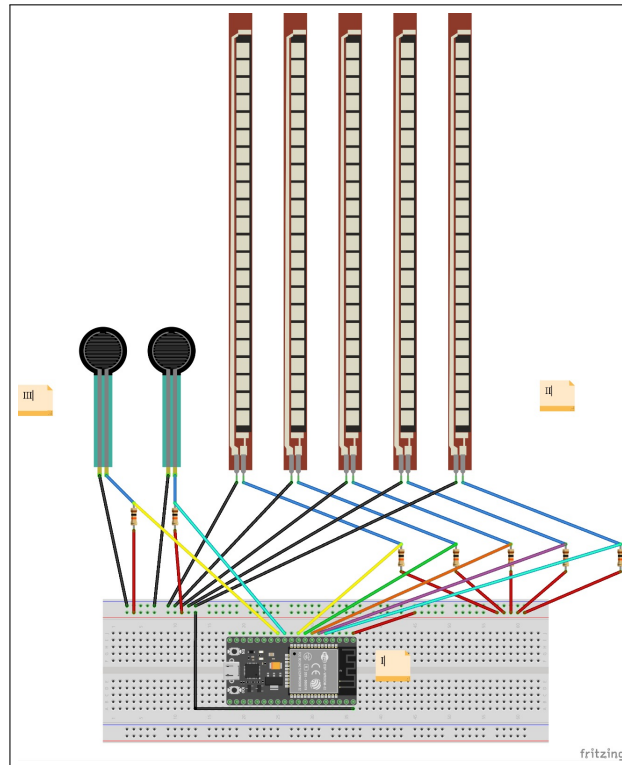


Fonte: (Mehta *et al.*, 2023)

Conforme ilustrado na Figura 17, foram integrados cinco sensores *flex* um para cada dedo da mão, com o objetivo de monitorar o grau de flexão individual. Além disso, foram incorporados dois sensores de força resistivos, posicionados nos dedos indicador e anelar,

responsáveis por captar a pressão exercida durante movimentos de preensão. Os sensores foram conectados ao microcontrolador por meio de uma protoboard, com resistores utilizados para a montagem de divisores de tensão, permitindo a leitura analógica dos sinais.

Figura 17 – Arquitetura dos componentes.



Fonte: Próprio autor

5.4 Protótipo

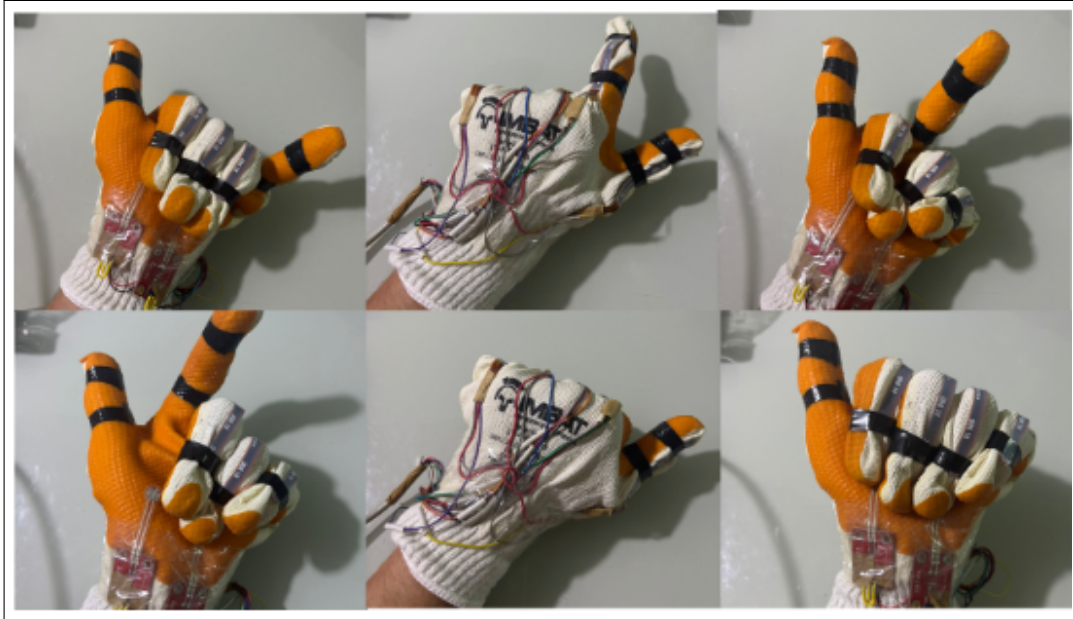
Consiste em uma luva que contém sensores *flex* (de flexão) para cada um dos dedos e dois sensores de força para os dedos indicador e anelar. A luva foi fabricada para a mão direita; era feita de tecido têxtil. Este tecido foi escolhido devido aos seus pontos largos, que permitem maior contato entre a pele e o objeto agarrado em comparação com outros tipos de materiais.

5.5 Experimentos

Para validar a funcionalidade e a eficácia da luva inteligente, foram conduzidos testes práticos em ambiente laboratorial controlado com um voluntário simulando a condição de um paciente em reabilitação pós-AVC. O objetivo foi avaliar a precisão dos dados fornecidos pelos sensores frente a diferentes padrões de movimento e aplicação de força manual.

Os cenários escolhidos para os experimentos em questão foram quatro movimentos

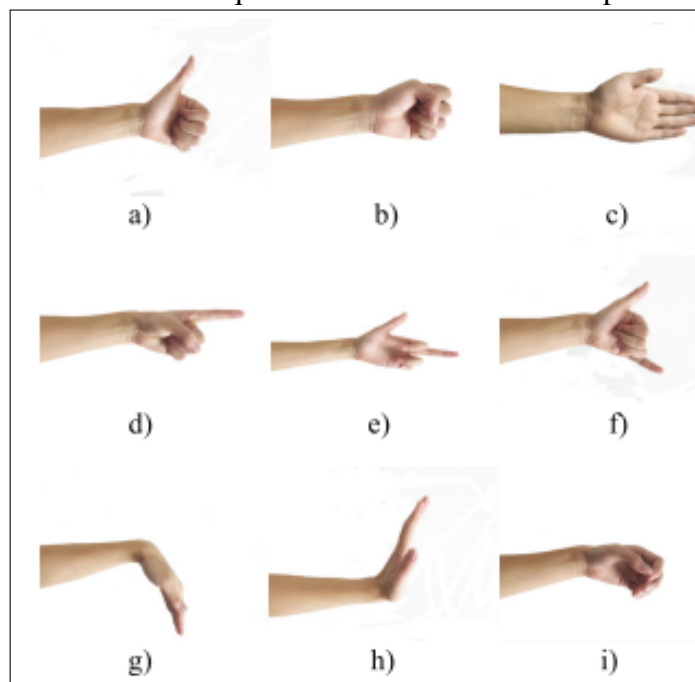
Figura 18 – Luva inteligente desenvolvida neste trabalho, protótipo representado em várias posições com os sensores instalados e representados.



Fonte: Próprio autor

básicos da mão, todos relacionados a extensão de um dos dedos e flexão dos demais. Os quatro dedos escolhidos foram: polegar, indicador, médio e mínimo. A base das escolhas dos cenários foi baseado em (Yang *et al.*, 2018), como mostrado na Figura 17, os movimentos escolhidos estão representados por: a), d), e) e f), com a c) sendo a posição base.

Figura 19 – Cenários de testes que foram usados como base para os experimentos.



Fonte: (Yang *et al.*, 2018)

Os cenários experimentais distintos foram estabelecidos, onde, o participante realizou 20 repetições de ciclos de flexão e extensão com todos os dedos, permitindo avaliar a resposta dos sensores *flex* posicionados em cada dedo. Durante todas as etapas, os dados foram coletados em tempo real por meio do microcontrolador ESP-WROOM-32, que processou as informações e as transmitiu via serial para um sistema computacional.

Esse sistema armazenou as leituras dos sensores para posterior análise quantitativa, considerando parâmetros como médias, desvios padrão, amplitude de variação e repetibilidade dos sinais. Os ensaios demonstraram que a luva possui desempenho consistente na detecção de padrões motores e na resposta sensorial, apresentando potencial para ser aplicada em protocolos personalizados de reabilitação funcional da mão.

5.6 Análise dos dados

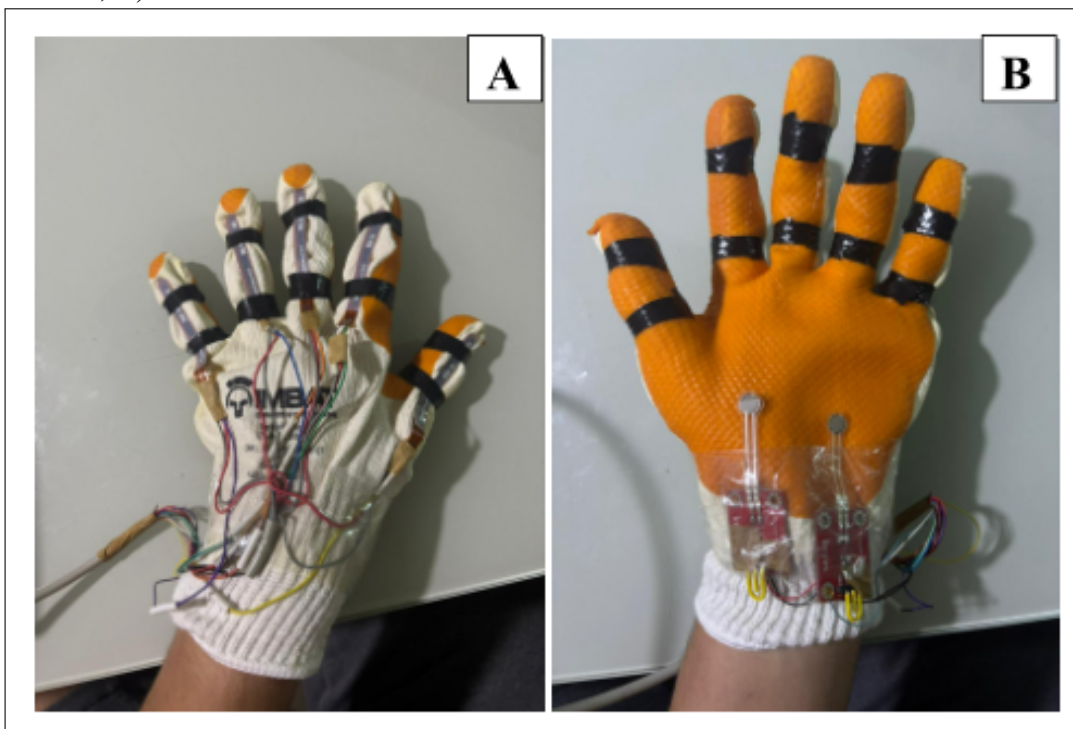
Os dados obtidos através do protótipo foram coletados e enviados para a plataforma do Excel, onde foram feitas as análises e construção dos gráficos e as medições em Voltz.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento de protótipos com o objetivo de tornarem-se luvas inteligentes está sendo um ponto de estudo desenvolvido nas últimas décadas, em decorrência da importância para a busca de novas terapias ou complementares que consigam auxiliar na recuperação do movimento que foram prejudicados após o AVC (Tseng *et al.*, 2024) (Veldema; Jansen, 2020).

A Figura 20 apresenta o protótipo final da luva inteligente desenvolvida em sua face dorsal (Figura 20A) e a face ventral (Figura 20B), evidenciando a integração dos componentes eletrônicos ao substrato têxtil. Foram utilizados dois sensores de pressão relacionados ao movimento dos dedos que foram fixados no indicador e anelar. Os sensores assim colocados têm o papel de medir a pressão exercida pelo paciente no momento de iniciar o agarramento dos objetos.

Figura 20 – Protótipo da luva inteligente e sua composição com os sensores. A) Face dorsal; B) Face ventral.



Fonte: Próprio autor

Em cada um dos cinco dígitos, foram posicionados sensores de flexão, fixados externamente nas articulações. A fixação dos sensores foi realizada por meio de fitas ajustáveis, permitindo tanto a otimização do contato para leitura precisa da flexão digital quanto a fácil substituição ou manutenção. Para melhor obtenção, esses movimentos foram feitos 20 vezes, o que dá 20 vezes na posição do teste e 20 na posição neutra. Os movimentos foram: estender o

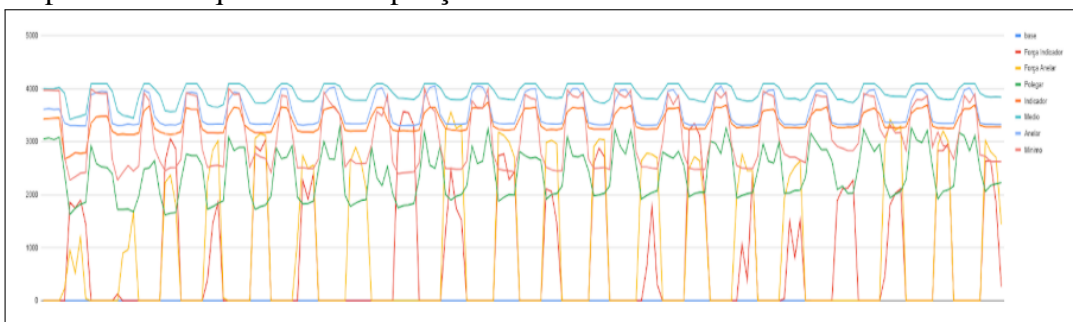
polegar, o indicador, o médio e o mínimo.

A partir dos danos causados pelo AVC, o *feedback* sensorial é afetado diretamente, resultando em uma falha na função motora (Liu *et al.*, 2023). O protótipo desenvolvido nesse trabalho demonstra atividade para a reabilitação, pois o uso do movimento repetitivo consegue aprimorar a função dos sensores nervosos através dos sensores flexíveis e sensores de força, incentivando o movimento do paciente afetado pelo acidente vascular cerebral. Diante disso, o uso de tecnologias baseadas no parâmetro de repetibilidade pode ser classificado como uma terapia promissora para a reabilitação dos membros superiores (Henderson *et al.*, 2021).

6.1 Pré-Filtro

A Figura 21 apresenta a variação da força individual do polegar (linha verde) ao longo de aproximadamente 20 ciclos de movimento repetitivo. O eixo Y representa a magnitude da força em uma tensão elétrica medida em *voltz*, enquanto o eixo X indica a progressão sequencial dessas repetições. Ao analisar a curva do polegar, observa-se um padrão claro de picos e vales que se repete consistentemente ao longo das 20 repetições. Os picos de força para o polegar tendem a atingir valores na faixa de 2500 a 3000 volts, indicando os momentos de maior aplicação de força durante cada repetição do movimento.

Figura 21 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do polegar (linha verde), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.

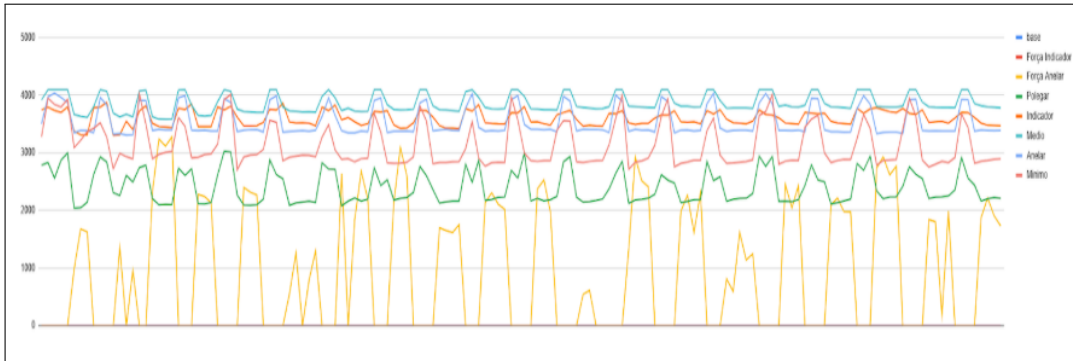


Fonte: Próprio autor.

A Figura 22 apresenta a variação da força individual dos dedos da mão, com especial atenção ao perfil de força do dedo Indicador (linha laranja), ao longo de aproximadamente 20 ciclos de movimento repetitivo. Ao observar a curva do dedo Indicador, percebe-se um padrão de picos e vales consistentes. Os picos de força para o Indicador atingem valores que variam entre aproximadamente 3000 e 3500 *voltz*, demonstrando a intensidade da força aplicada durante

a fase ativa de cada repetição.

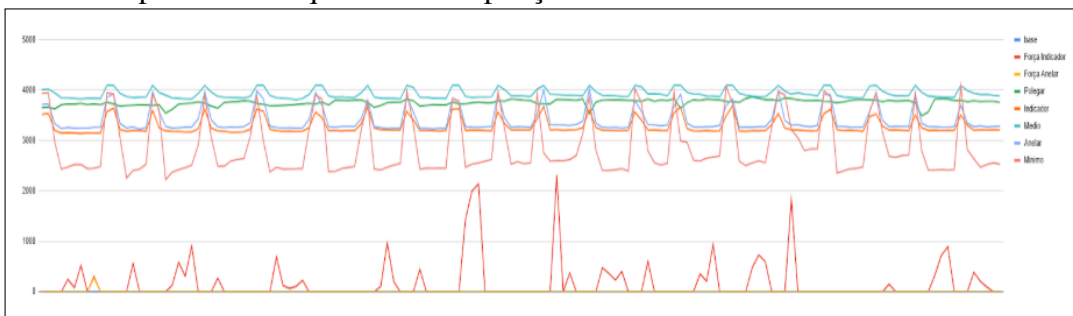
Figura 22 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do indicador (linha vermelha), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.



Fonte: Próprio autor.

Figura 23 ilustra a variação da força individual dos dedos da mão, com uma análise detalhada do perfil de força do dedo Mínimo (linha vermelha), ao longo de aproximadamente 20 ciclos de movimento repetitivo. Ao observar a curva do dedo Mínima, percebe-se um comportamento distinto em comparação aos demais dedos. A força do dedo Mínima apresenta picos de ativação que, embora presentes, são significativamente mais variáveis em amplitude e *timing* do que os observados para os outros dedos, raramente ultrapassando 1000 *voltz* na maioria dos ciclos. Há momentos em que os picos são mais acentuados, chegando próximo a 2000 *voltz* em algumas repetições, mas com uma base que frequentemente retorna a valores próximos de zero.

Figura 23 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do mínimo (linha vermelho claro), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.

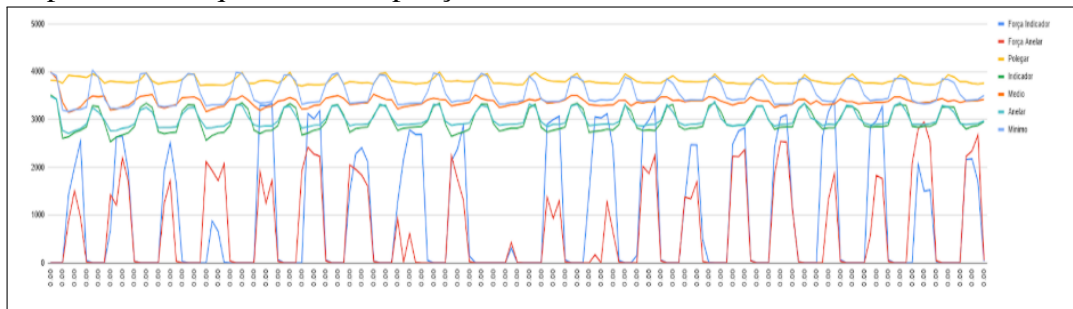


Fonte: Próprio autor.

Figura 24 apresenta o registro temporal dos dados de flexão capturados pelos sensores

da luva inteligente. Com enfoque na linha laranja, que representa o dedo médio, observa-se um comportamento predominante de flexão parcial ao longo de todo o período de aquisição. A leitura do sensor para este dígito se mantém em um patamar elevado, com variações cíclicas distintas.

Figura 24 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do médio (linha azul ciano), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.



Fonte: Próprio autor.

Foi possível observar no uso do protótipo, que os sensores de flexão e os sensores de força conseguiram auxiliar no esforço para a realização do movimento proposto. Corroborando diretamente com estudos que também desenvolveram a luva inteligente com o objetivo de recuperar os movimentos afetados, todos demonstraram potencial atividade como terapia principal ou coadjuvante, mesmo em estudos pré-clínicos foi possível observar a eficácia da aplicação dessas tecnologias (Klamroth-Marganska, 2018) (Phatsornsiri *et al.*, 2025) (Stinear *et al.*, 2020). Embora a análise da taxa de movimentos em repetição com a luva tenha sido realizada, a validação clínica em um grupo maior de pacientes seria fundamental para consolidar os resultados e demonstrar o impacto direto da ferramenta na melhora da função motora fina e na recuperação da independência.

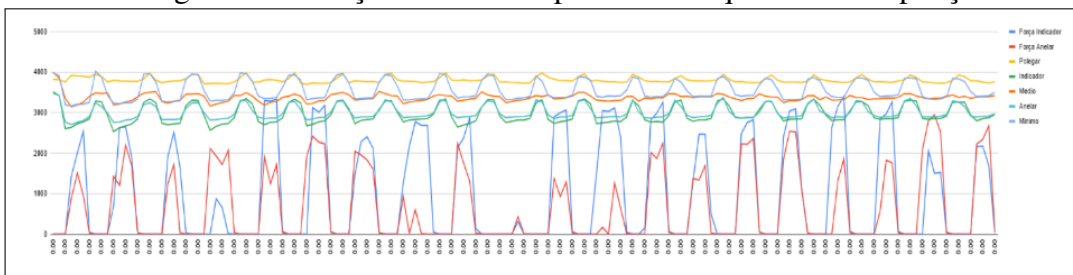
Os resultados demonstraram que os sensores da luva, tanto de força quanto de flexão, foram eficazes em capturar os padrões motores propostos. A repetição consistente dos picos de força e das curvas de flexão sugere alta sensibilidade e precisão do sistema. Em conjunto com as análises de matriz de confusão, foi possível verificar que o dispositivo apresenta alta taxa de acerto na detecção de movimentos reais, com baixa incidência de falsos positivos ou negativos, refletindo valores elevados de sensibilidade, especificidade e precisão.

6.2 Análise do Perfil de Força Individual dos Dedos após Aplicação do Filtro Passa-Baixa

A Figura 25 apresenta o perfil de força individual dos dedos da mão ao longo de 20 repetições de um mesmo movimento, conforme detectado pela luva inteligente, após a aplicação de um filtro passa-baixa. O objetivo da filtragem foi suavizar os dados brutos, eliminar os ruídos de alta frequência provenientes de oscilações ou interferências dos sensores. Essa etapa foi essencial para tornar os sinais mais representativos do comportamento real da força muscular exercida durante o movimento repetido.

Após a filtragem, o perfil de força do polegar (Figura 25) apresentou uma curva significativamente mais estável em comparação aos dados brutos. As oscilações observadas nas medições originais foram minimizadas, evidenciando um padrão cíclico consistente ao longo das 20 repetições. A força máxima demonstrou uma leve tendência de aumento nas repetições iniciais, esse comportamento sugere uma possível fase de adaptação inicial, seguida por repetição motora mais eficiente.

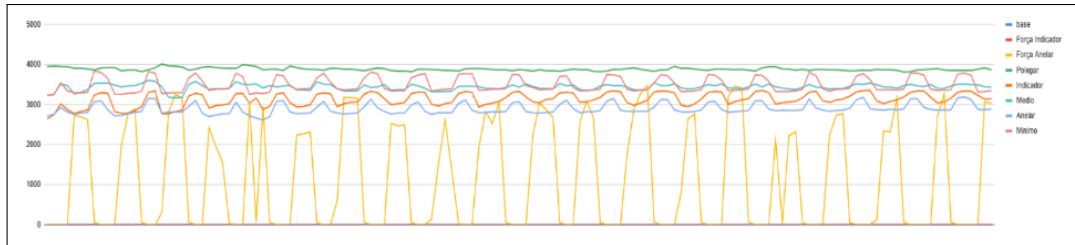
Figura 25 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do polegar (linha verde), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente com a utilização do filtro passa-baixa. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.



Fonte: Próprio autor.

O dedo indicador apresentou variações de força relativamente regulares após a aplicação do filtro quando comparado ao sinal bruto, onde apresentava picos irregulares e ruídos, o traçado destacou os níveis de contração e relaxamento. Notou-se também uma maior consistência na amplitude das forças aplicadas entre as repetições, indicando que o filtro facilitou a visualização de um padrão uniforme, possivelmente relacionado à repetição consciente do movimento.

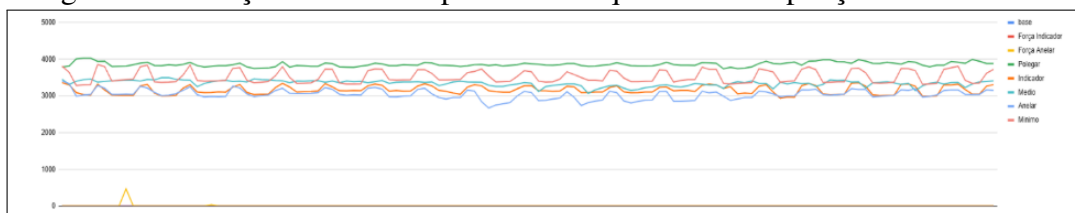
Figura 26 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do Indicador (linha vermelha), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente com o uso do filtro passa-baixa. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.



Fonte: Próprio autor.

A força do dedo médio, após o processamento, revelou um comportamento com padrão semelhante ao do indicador, embora com magnitude ligeiramente inferior. A suavização permitiu identificar uma sequência de ativação muscular, o que não era evidente nas séries brutas.

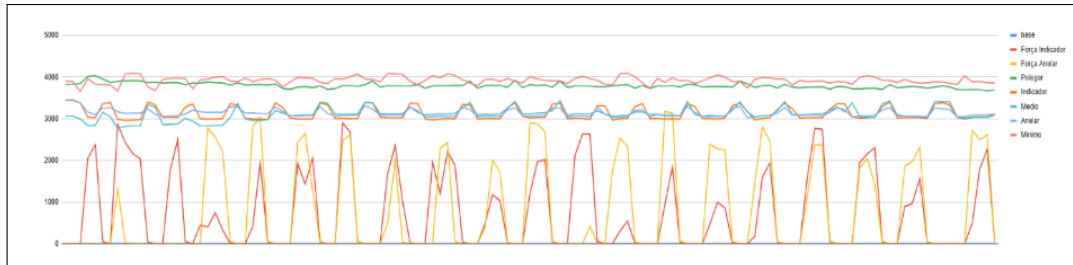
Figura 27 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do médio (linha azul ciano), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente utilizando o filtro passa-baixa. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.



Fonte: Próprio autor.

O dedo mínimo foi o que apresentou menor amplitude de força entre todos os dedos avaliados. A aplicação do filtro passa-baixa teve um papel fundamental na remoção de ruídos. Com a filtragem, foi possível identificar que o padrão de força do mínimo manteve-se mais baixo e constante, com pequenas variações. Esse resultado é coerente com a menor participação funcional do dedo mínimo em tarefas que exigem força e precisão, como as simuladas neste estudo.

Figura 28 – Perfil de força individual dos dedos da mão, com destaque para a força do Mínimo (linha vermelho claro), ao longo de 20 repetições de um movimento, conforme detectado pela luva inteligente utilizando o filtro passa-baixa. O eixo Y denota a magnitude da força e o eixo X representa a sequência das repetições.



Fonte: Próprio autor.

A comparação entre os sinais filtrados e os dados brutos revelou que a aplicação do filtro passa-baixa contribuiu significativamente para a qualidade da análise. Nos dados originais, observavam-se ruídos de alta frequência e variações decorrentes de limitações dos sensores ou interferência do ambiente. Após o uso do filtro, os sinais tornaram-se mais regulares, com menor dispersão e maior coerência com o padrão motor esperado. Essa melhora na qualidade do sinal permitiu identificar com precisão o comportamento individual de cada dedo, favorecendo análises mais confiáveis sobre o desempenho motor dos voluntários.

Esses achados reforçam a importância do pré-processamento dos sinais na avaliação de tecnologias assistivas, especialmente aquelas voltadas para reabilitação, como a luva inteligente desenvolvida neste trabalho.

6.3 Matriz de Confusão

Para avaliar o desempenho do protótipo na detecção dos movimentos de flexão dos dedos, foi utilizada a matriz de confusão. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para cada dedo, com e sem aplicação de filtro digital nos dados. Antes do uso do filtro, foram registrados 65 verdadeiros positivos (VP), 15 verdadeiros negativos (VN), 73 falsos positivos (FP) e 7 falsos negativos (FN). Isso indica uma boa capacidade de detecção dos movimentos apresentando uma alta taxa de sensibilidade, mas uma limitação quanto à especificidade, evidenciada pelo número elevado de FPs.

Após a aplicação do filtro, observou-se um aumento nos VPs (68) e uma redução significativa nos FPs (58), um aumento nos FNs (22) e uma leve redução nos VNs (11). Esses resultados sugerem que o filtro aplicado teve efeito na suavização dos dados, reduzindo ativações incorretas, mas também pode ter eliminado parte dos sinais válidos de flexão, o que impactou

negativamente na sensibilidade. A análise por matriz de confusão, portanto, foi essencial para identificar esses padrões e orientar possíveis ajustes nos parâmetros do filtro e do algoritmo de decisão.

Tabela 3 – Resultados da matriz de confusão vinculados a validação do protótipo da luva inteligente para detecção do movimento de flexão dos dedos, antes e após a aplicação de filtro nos dados dos sensores. (F) – Filtro.

	Total Positivo (posição de teste)	Verdadeiro Positivo	Verdadeiro Negativo	Total Negativo (posição base)	Falso Positivo	Falso Negativo
Polegar 20x	20	16	4	20	19	1
Indicador 20x	20	17	3	20	20	0
Médio 20x	20	17	3	20	17	3
Mínimo 20x	20	15	5	20	17	3
Total sem filtro	80	65	15	80	73	7
Polegar (F) 20x	20	19	1	20	17	3
Indicador (F) 20x	20	16	4	20	14	6
Médio (F) 20x	20	17	3	20	13	7
Mínimo (F) 20x	20	17	3	20	14	6
Total com filtro	80	68	11	80	58	22

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados obtidos com a luva inteligente indicam um desempenho promissor em cenários específicos. O destaque vai para a condição (Polegar 20x), que apresentou 20 (VP), 16 (VN) e apenas 1 (FN), evidenciando alta sensibilidade e especificidade. Da mesma forma, a condição (Indicador 20x) demonstrou grande eficácia, com 17 (VP) e nenhum falso negativo, o que reforça a capacidade do sistema em reconhecer movimentos que apresentam maior definição e execução. Esses dados indicam que movimentos mais amplos e bem padronizados, especialmente quando repetidos com maior frequência, são reconhecidos com mais consistência pela luva, o que representa uma vantagem significativa para sua aplicação em protocolos de reabilitação motora.

O filtro passa-baixa é utilizado frequentemente em testes biomecânicos, com o objetivo de reduzir os ruídos e apresentar os sinais verdadeiros para que os dados sejam analisados. Ele atua removendo frequências de sinais externos que não fazem parte do sistema, contribuindo para que não ocorra erros nos dados originais (Harry *et al.*, 2022). Com a aplicação do filtro, os resultados se mantiveram positivos em algumas condições, como (Polegar (F) 20x) e (Médio (F) 20x), que apresentaram 19 e 17 (VP), respectivamente. No entanto, observou-se uma redução na especificidade, com baixo número de VN e aumento dos FP. Ainda assim, a presença de poucos FN nessas condições reforça a utilidade do filtro para garantir a detecção de movimentos mesmo que realizados com imperfeições, um aspecto fundamental na recuperação de pacientes com

sequelas motoras.

Em contrapartida, os piores desempenhos ocorreram nas condições (Mínimo 20x) sem filtro e (Médio/Mínimo (F) 20x), que apresentaram baixos VP (15 a 17), altos FN (até 7) demonstrando uma redução significativa na detecção correta de movimentos. Isso evidencia uma limitação da luva na captação de gestos que realizam um movimento mais simples, o que pode contribuir para resultados negativos, especialmente nas fases iniciais da reabilitação, quando os movimentos ainda estão comprometidos.

6.4 Limitações e Ameaças a Validade

Uma limitação importante deste estudo é o fato de os testes terem sido realizados exclusivamente em ambiente laboratorial, com a participação de apenas um voluntário. Essa condição restringe a possibilidade de generalizar os resultados para situações clínicas reais, especialmente no que se refere ao uso da luva por pacientes com mobilidade comprometida. A ausência de usuários com sequelas motoras impossibilitou a análise de fatores relevantes, como a percepção de dor, fadiga durante o uso e a resposta individual ao processo de reabilitação.

Além disso, o ambiente controlado pode não refletir com precisão os desafios enfrentados no uso cotidiano, o que pode levar a uma superestimação da eficácia do protótipo. Aspectos como durabilidade dos materiais, conforto ao longo do tempo e adaptação ao uso contínuo também não foram abordados nesta etapa inicial. Embora os componentes utilizados apresentem custo acessível, ainda não foi realizada uma análise detalhada de viabilidade para produção em maior escala. Assim, reforça-se a necessidade de estudos clínicos futuros, com uma amostra mais ampla e diversificada, para validar o potencial da luva inteligente como ferramenta eficaz na reabilitação motora de pacientes reais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos estudos têm explorado o uso de luvas inteligentes como ferramentas auxiliares na reabilitação motora de pacientes com comprometimento funcional das mãos, especialmente após AVC. Esses trabalhos demonstram que sensores integrados podem fornecer dados relevantes sobre o progresso terapêutico e auxiliar na recuperação da função motora, embora muitos ainda estejam em fase experimental e careçam de validação clínica ampla (Zakri *et al.*, 2024) (Kang *et al.*, 2020) (Ganeson *et al.*, 2016) (Raad *et al.*, 2019) (Luca *et al.*, 2020) (Dhiman; Kumar, 2025). Apesar dos avanços, há carência de soluções de baixo custo, com fácil implementação e foco na coleta precisa de parâmetros motores individualizados.

O presente trabalho alcançou o objetivo de desenvolver uma luva inteligente voltada para a reabilitação motora de pacientes pós-AVC, com foco na detecção e monitoramento individual do movimento e força dos dedos da mão. A integração de sensores *flex* para a medição do ângulo de flexão de cada dedo e sensores de força para os dedos indicador e anelar permitiu a coleta de dados sobre a movimentação e a pressão exercida. Essa abordagem tecnológica representa um avanço significativo no acompanhamento e na avaliação do progresso terapêutico, fornecendo informações objetivas e quantificáveis que podem otimizar o processo de reabilitação.

Destaca-se como conhecimento adquirido, a implementação de sensores em pontos estratégicos da mão, associada a um sistema de obtenção e análise dos dados em tempo real, esses resultados podem proporcionar um recurso eficaz e acessível no apoio à reabilitação. A principal contribuição deste estudo reside na viabilidade de um protótipo funcional, com baixo custo e foco na individualização do tratamento, propondo uma solução prática com simplicidade, precisão e aplicabilidade futura em contextos clínicos.

No entanto, o trabalho apresenta limitações importantes, como a realização dos testes exclusivamente em ambiente laboratorial, com um único voluntário, sem validação clínica em pacientes reais. A ausência de variabilidade populacional e de condições adversas de uso limita os resultados e reduz a interpretação da eficácia do sistema em situações reais de reabilitação.

Com base no desenvolvimento desse projeto, juntamente com o seu protótipo, foi possível extrair lições valiosas, dentre elas temos:

- A importância da validação antecipada de componentes: efetuar testes isolados nos sensores, microcontroladores e outras ferramentas, antes da implementação do protótipo, foi uma etapa crucial para mitigar riscos e evitar retrabalho na fase final de testes;
- Planejamento centrado no usuário e na funcionalidade: elaboração de casos de uso e a

- análise de cenários de aplicação real, antes do início da prototipagem, auxiliou a ter uma visão mais concisa acerca do objetivo final do projeto, além de garantir, desde as primeiras etapas, que o protótipo atenderia efetivamente às necessidades de pacientes e terapeutas;
- O valor de um desenvolvimento orientado por processos: o planejamento dos processos e etapas a serem seguidos foi de suma importância para otimizar o fluxo de trabalho.
 - A necessidade de uma elaboração mais detalhada acerca dos dados finais: planejar detalhadamente os métodos para coleta, armazenamento e análise dos dados gerados, foi um passo crítico que impacta diretamente a qualidade e a confiabilidade dos resultados finais obtidos;

Para trabalhos futuros, sugere-se a expansão da pesquisa para incluir a validação da luva em um estudo clínico randomizado, comparando-a com métodos de reabilitação tradicionais. Além disso, aprimoramentos na luva poderiam envolver outros componentes, a integração de tecnologias sem fio para maior mobilidade, e a implementação de algoritmos de inteligência artificial para análise e personalização dos exercícios. A luva inteligente desenvolvida possui um grande potencial para transformar a reabilitação motora, oferecendo uma ferramenta inovadora e acessível para auxiliar na recuperação da qualidade de vida de indivíduos afetados por um AVC.

REFERÊNCIAS

- AL-WHAIBI, R. M.; AL-JADID, M. S.; ELSEROUGY, H. R.; BADAWY, W. M. Effectiveness of virtual reality-based rehabilitation versus conventional therapy on upper limb motor function of chronic stroke patients: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Physiotherapy theory and practice**, Taylor & Francis, v. 38, n. 13, p. 2402–2416, 2022.
- ARMADA-MOREIRA, A.; GOMES, J. I.; PINA, C. C.; SAVCHAK, O. K.; GONÇALVES-RIBEIRO, J.; REI, N.; PINTO, S.; MORAIS, T. P.; MARTINS, R. S.; RIBEIRO, F. F. *et al.* Going the extra (synaptic) mile: excitotoxicity as the road toward neurodegenerative diseases. **Frontiers in cellular neuroscience**, Frontiers Media SA, v. 14, p. 90, 2020.
- ASE, H.; HONAGA, K.; TANI, M.; TAKAKURA, T.; WADA, F.; MURAKAMI, Y.; ISAYAMA, R.; TANUMA, A.; FUJIWARA, T. Effects of home-based virtual reality upper extremity rehabilitation in persons with chronic stroke: a randomized controlled trial. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, Springer, v. 22, n. 1, p. 20, 2025.
- AUSTIN, V.; AUSTIN, V.; HOLLOWAY, C.; HOLLOWAY, C. Assistive technology (at), for what? **Societies**, 2022.
- BARTHELIS, D.; DAS, H. Current advances in ischemic stroke research and therapies. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease**, Elsevier, v. 1866, n. 4, p. 165260, 2020.
- BERTANI, R.; MELEGARI, C.; COLA, M. C. D.; BRAMANTI, A.; BRAMANTI, P.; CALABRÒ, R. S. Effects of robot-assisted upper limb rehabilitation in stroke patients: a systematic review with meta-analysis. **Neurological Sciences**, Springer, v. 38, n. 9, p. 1561–1569, 2017.
- BOURBAKIS, N. G.; ESPOSITO, A.; TSIHRINTZIS, G. A.; VIRVOU, M.; JAIN, L. C. Introduction to advances in assistive technologies. In: **Advances in Assistive Technologies: Selected Papers in Honour of Professor Nikolaos G. Bourbakis–Vol. 3**. [S. l.]: Springer, 2021. p. 1–7.
- BRAGA, N. C. **Sensores de Força FSR e Ribbon (ART3930)**. 2012. Disponível em: <https://www.newtonbraga.com.br/novos-componentes/14355-sensores-de-forca-fsr-e-ribbon-art3930.html>. Acesso em: 01 jun. 2025.
- CAEIRO-RODRÍGUEZ, M.; OTERO-GONZÁLEZ, I.; MIKIC-FONTE, F. A.; LLAMAS-NISTAL, M. A systematic review of commercial smart gloves: Current status and applications. **Sensors**, MDPI, v. 21, n. 8, p. 2667, 2021.
- CHAO, M.; WANG, Y.; MA, D.; WU, X.; ZHANG, W.; ZHANG, L.; WAN, P. Wearable mxene nanocomposites-based strain sensor with tile-like stacked hierarchical microstructure for broad-range ultrasensitive sensing. **Nano Energy**, Elsevier, v. 78, p. 105187, 2020.
- DEVITTORI, G.; DINACCI, D.; ROMITI, D.; CALIFFI, A.; PETRILLO, C.; ROSSI, P.; RANZANI, R.; GASSERT, R.; LAMBERCY, O. Unsupervised robot-assisted rehabilitation after stroke: feasibility, effect on therapy dose, and user experience. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, Springer, v. 21, n. 1, p. 52, 2024.
- DHIMAN, H.; KUMAR, R. An internet of things-enabled smart glove for brain stroke rehabilitation. **Measurement: Digitalization**, Elsevier, p. 100001, 2025.

- DIAS, P.; SILVA, R.; AMORIM, P.; LAINS, J.; ROQUE, E.; SERÔDIO, I.; PEREIRA, F.; SANTOS, B. S. Using virtual reality to increase motivation in poststroke rehabilitation. **IEEE computer graphics and applications**, IEEE, v. 39, n. 1, p. 64–70, 2019.
- DONG, Y.-S.; AO, S.-J.; GONG, H. Adaptive robotic polishing based on distributed flexible force sensors. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, Elsevier, v. 95, p. 103020, 2025.
- DURET, C.; GROSMARE, A.-G.; KREBS, H. I. Robot-assisted therapy in upper extremity hemiparesis: overview of an evidence-based approach. **Frontiers in neurology**, Frontiers Media SA, v. 10, p. 412, 2019.
- EKSTRAND, E.; LEXELL, J.; BROGÅRDH, C. Grip strength is a representative measure of muscle weakness in the upper extremity after stroke. **Topics in stroke rehabilitation**, Taylor & Francis, v. 23, n. 6, p. 400–405, 2016.
- FAZIO, R. D.; DEL-VALLE-SOTO, C.; MASTRONARDI, V.; VITTORIO, M. D.; VISCONTI, P. A smart glove to evaluate parkinson's disease by flexible piezoelectric and inertial sensors. **Sensors International**, Elsevier, v. 6, p. 100324, 2025.
- GANESON, S.; AMBAR, R.; JAMIL, M. M. A. Design of a low-cost instrumented glove for hand rehabilitation monitoring system. In: 2016 6TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL SYSTEM, COMPUTING AND ENGINEERING (ICCSCE). [S. l.], 2016. p. 189–192.
- GHAZAL, T. M.; HASAN, M. K.; ALSHURIDEH, M. T.; ALZOUBI, H. M.; AHMAD, M.; AKBAR, S. S.; KURDI, B. A.; AKOUR, I. A. Iot for smart cities: Machine learning approaches in smart healthcare—a review. **Future Internet**, MDPI, v. 13, n. 8, p. 218, 2021.
- GLAUSER, O.; WU, S.; PANOZZO, D.; HILLIGES, O.; SORKINE-HORNUNG, O. Interactive hand pose estimation using a stretch-sensing soft glove. **ACM Transactions on Graphics (ToG)**, ACM New York, NY, USA, v. 38, n. 4, p. 1–15, 2019.
- GODECKE, E.; ARMSTRONG, E.; RAI, T.; CICCONE, N.; ROSE, M. L.; MIDDLETON, S.; WHITWORTH, A.; HOLLAND, A.; ELLERY, F.; HANKEY, G. J. *et al.* A randomized control trial of intensive aphasia therapy after acute stroke: The very early rehabilitation for speech (verse) study. **International Journal of Stroke**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 16, n. 5, p. 556–572, 2021.
- GONG, D.; LI, X.; CHEN, Y.; JIAO, T. Recent progress in mof-based flexible sensors: A review. **Sustainable Materials and Technologies**, Elsevier, p. e01429, 2025.
- GORELICK, P. B. The global burden of stroke: persistent and disabling. **The Lancet Neurology**, Elsevier, v. 18, n. 5, p. 417–418, 2019.
- GU, Y.; ZHOU, C.; PIAO, Z.; YUAN, H.; JIANG, H.; WEI, H.; ZHOU, Y.; NAN, G.; JI, X. Cerebral edema after ischemic stroke: Pathophysiology and underlying mechanisms. **Frontiers in neuroscience**, Frontiers Media SA, v. 16, p. 988283, 2022.
- GUO, N.; WANG, X.; DUANMU, D.; HUANG, X.; LI, X.; FAN, Y.; LI, H.; LIU, Y.; YEUNG, E. H. K.; TO, M. K. T. *et al.* Ssvep-based brain computer interface controlled soft robotic glove for post-stroke hand function rehabilitation. **IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering**, IEEE, v. 30, p. 1737–1744, 2022.

HARRY, J. R.; BLINCH, J.; BARKER, L. A.; KRZYSZKOWSKI, J.; CHOWNING, L. Low-pass filter effects on metrics of countermovement vertical jump performance. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, LWW, v. 36, n. 5, p. 1459–1467, 2022.

HE, X.; CUI, Z.; ZHANG, F.; LI, Y.; TU, J.; CAO, J.; WANG, J.; QIAO, Y.; XI, P.; XU, T. *et al.* Multiscale heterogeneities-based piezoresistive interfaces with ultralow detection limitation and adaptively switchable pressure detectability. **ACS nano**, ACS Publications, v. 18, n. 11, p. 8296–8306, 2024.

HENDERSON, J.; CONDELL, J.; CONNOLLY, J.; KELLY, D.; CURRAN, K. Reliability and validity of clinically accessible smart glove technologies to measure joint range of motion. **Sensors**, MDPI, v. 21, n. 5, p. 1555, 2021.

HILL, N. T.; MOWSZOWSKI, L.; NAISMITH, S. L.; CHADWICK, V. L.; VALENZUELA, M.; LAMPIT, A. Computerized cognitive training in older adults with mild cognitive impairment or dementia: a systematic review and meta-analysis. **American Journal of Psychiatry**, American Psychiatric Association Arlington, VA, v. 174, n. 4, p. 329–340, 2017.

ISO. **Organização Internacional para Produtos Assistivos de Normalização — Classificação e Terminologia**. [S. l.], 2022.

JAYOUSI, S.; BARCHIELLI, C.; ALAIMO, M.; CAPUTO, S.; PAFFETTI, M.; ZOPPI, P.; MUCCHI, L. Ict in nursing and patient healthcare management: scoping review and case studies. **Sensors**, MDPI, v. 24, n. 10, p. 3129, 2024.

JURGENS, C. Y.; LEE, C. S.; AYCOCK, D. M.; CREBER, R. M.; DENFELD, Q. E.; DEVON, H. A.; EVERS, L. R.; JUNG, M.; PUCCIARELLI, G.; STREUR, M. M. *et al.* State of the science: the relevance of symptoms in cardiovascular disease and research: a scientific statement from the american heart association. **Circulation**, Lippincott Williams & Wilkins Hagerstown, MD, v. 146, n. 12, p. e173–e184, 2022.

KAISTI, M.; RANTALA, V.; MUJUNEN, T.; HYRYNSALMI, S.; KÖNNÖLÄ, K.; MÄKILÄ, T.; LEHTONEN, T. Agile methods for embedded systems development—a literature review and a mapping study. **EURASIP Journal on Embedded Systems**, Springer, v. 2013, n. 1, p. 15, 2013.

KANG, M.-G.; YUN, S. J.; LEE, S. Y.; OH, B.-M.; LEE, H. H.; LEE, S.-U.; SEO, H. G. Effects of upper-extremity rehabilitation using smart glove in patients with subacute stroke: results of a prematurely terminated multicenter randomized controlled trial. **Frontiers in neurology**, Frontiers Media SA, v. 11, p. 580393, 2020.

KATAN, M.; LUFT, A. Global burden of stroke. In: THIEME MEDICAL PUBLISHERS. **Seminars in neurology**. [S. l.], 2018. v. 38, n. 02, p. 208–211.

KHOSHMANESH, F.; THURGOOD, P.; PIROGOVA, E.; NAHAVANDI, S.; BARATCHI, S. Wearable sensors: At the frontier of personalised health monitoring, smart prosthetics and assistive technologies. **Biosensors and Bioelectronics**, Elsevier, v. 176, p. 112946, 2021.

KLAMROTH-MARGANSKA, V. Stroke rehabilitation: therapy robots and assistive devices. **Sex-Specific Analysis of Cardiovascular Function**, Springer, p. 579–587, 2018.

KÖNNÖLÄ, K.; SUOMI, S.; MÄKILÄ, T.; JOKELA, T.; RANTALA, V.; LEHTONEN, T. Agile methods in embedded system development: Multiple-case study of three industrial cases. **Journal of systems and software**, Elsevier, v. 118, p. 134–150, 2016.

- KORZENIEWSKA, E.; KRAWCZYK, A.; MRÓZ, J.; WYSZYŃSKA, E.; ZAWIŚLAK, R. Applications of smart textiles in post-stroke rehabilitation. **Sensors**, MDPI, v. 20, n. 8, p. 2370, 2020.
- KURIAKOSE, D.; XIAO, Z. Pathophysiology and treatment of stroke: present status and future perspectives. **International journal of molecular sciences**, MDPI, v. 21, n. 20, p. 7609, 2020.
- KWAKKEL, G.; VEERBEEK, J. M.; WEGEN, E. E. van; WOLF, S. L. Constraint-induced movement therapy after stroke. **The Lancet Neurology**, Elsevier, v. 14, n. 2, p. 224–234, 2015.
- LEITE, C.; BYVSHEV, P.; MAURANEN, H.; XIAO, Y. Simulation-driven design of smart gloves for gesture recognition. **Scientific Reports**, Nature Publishing Group UK London, v. 14, n. 1, p. 14873, 2024.
- LI, Q.; KROEMER, O.; SU, Z.; VEIGA, F. F.; KABOLI, M.; RITTER, H. J. A review of tactile information: Perception and action through touch. **IEEE Transactions on Robotics**, IEEE, v. 36, n. 6, p. 1619–1634, 2020.
- LIU, M.; WILDER, S.; SANFORD, S.; GLASSEN, M.; DEWIL, S.; SALEH, S.; NATARAJ, R. Augmented feedback modes during functional grasp training with an intelligent glove and virtual reality for persons with traumatic brain injury. **Frontiers in Robotics and AI**, Frontiers Media SA, v. 10, p. 1230086, 2023.
- LIU, Z.; TAN, Y.; LI, H.; JIANG, H.; LIU, J.; LIAO, H. A 0.5-v 3.69-nw complementary source-follower-c based low-pass filter for wearable biomedical applications. **IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers**, IEEE, v. 67, n. 12, p. 4370–4381, 2020.
- LU, Y.; ZHAO, D.; HE, J.; ZOU, L. Armadillo-inspired ultra-sensitive flexible sensor for wearable electronics. **Chemical Engineering Journal**, Elsevier, v. 475, p. 146171, 2023.
- LUCA, C.; ANDRIȚOI, D.; CORCIOVĂ, C.; FUIOR, R. Intelligent glove for rehabilitation of hand movement in stroke survivor. In: 2020 INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXPOSITION ON ELECTRICAL AND POWER ENGINEERING (EPE). [S. l.], 2020. p. 546–549.
- MATSIKO, A. Tracking hand movements with a smart glove. **Science Robotics**, American Association for the Advancement of Science, v. 9, n. 87, p. eado6856, 2024.
- MATTEDE, H. **Filtro passa-baixa e suas aplicações!** 2015. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/filtro-passa-baixa-e-suas-aplicacoes>. Acesso em: 15 jun. 2025.
- MEHRHOLZ, J.; POHL, M.; PLATZ, T.; KUGLER, J.; ELSNER, B. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. **Cochrane database of systematic reviews**, John Wiley & Sons, Ltd, n. 9, 2018.
- MEHTA, K. R.; NAIDU, K. J.; BAHETI, M.; PARMAR, D.; SHARMILA, A. Internet of things based smart irrigation system using esp wroom 32. **Journal on Internet of Things**, v. 5, 2023.
- MUSUKA, T. D.; WILTON, S. B.; TRABOULSI, M.; HILL, M. D. Diagnosis and management of acute ischemic stroke: speed is critical. **Cmaj**, CMAJ, v. 187, n. 12, p. 887–893, 2015.

- OMS. **Relatório Global do Fundo das Nações Unidas para a Infância sobre Tecnologia Assistiva**. [S. l.], 2022.
- PHATSORNSIRI, P.; KUMNGERN, M.; KHATEB, F.; TORTEANCHAI, U.; WONG-PROMMOON, N.; KULEJ, T. 16-nw 0.5-v low-pass filter for bio-signal applications. **AEU-International Journal of Electronics and Communications**, Elsevier, v. 188, p. 155570, 2025.
- POLLOCK, A.; FARMER, S. E.; BRADY, M. C.; LANGHORNE, P.; MEAD, G. E.; MEHRHOLZ, J.; WIJCK, F. V. Interventions for improving upper limb function after stroke. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, John Wiley & Sons, Ltd, n. 11, 2014.
- RAAD, M. W.; DERICHE, M. A.; HAFEEDH, A. B.; ALMASAWA, H.; JOFAN, K. B.; ALSAKKAF, H.; BAHUMRAN, A.; SALEM, M. An iot based wearable smart glove for remote monitoring of rheumatoid arthritis patients. **Biosignals**, v. 2019, p. 224–228, 2019.
- RICHARDS, L. G.; CRAMER, S. C. Advances in stroke: therapies targeting stroke recovery. **Stroke**, Lippincott Williams & Wilkins Hagerstown, MD, v. 52, n. 1, p. 348–350, 2021.
- RODGERS, H.; BOSOMWORTH, H.; KREBS, H. I.; WIJCK, F. van; HOWEL, D.; WILSON, N.; AIRD, L.; ALVARADO, N.; ANDOLE, S.; COHEN, D. L. *et al.* Robot assisted training for the upper limb after stroke (ratuls): a multicentre randomised controlled trial. **The Lancet**, Elsevier, v. 394, n. 10192, p. 51–62, 2019.
- SALAUDEEN, M. A.; BELLO, N.; DANRAKA, R. N.; AMMANI, M. L. Understanding the pathophysiology of ischemic stroke: the basis of current therapies and opportunity for new ones. **Biomolecules**, MDPI, v. 14, n. 3, p. 305, 2024.
- SAWIGUN, C.; THANAPITAK, S. A nanopower biopotential lowpass filter using subthreshold current-reuse biquads with bulk effect self-neutralization. **IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers**, IEEE, v. 66, n. 5, p. 1746–1757, 2018.
- SHEHJAR, F.; MAKTABI, B.; RAHMAN, Z. A.; BAHADER, G. A.; JAMES, A. W.; NAQVI, A.; MAHAJAN, R.; SHAH, Z. A. Stroke: molecular mechanisms and therapies: update on recent developments. **Neurochemistry international**, Elsevier, v. 162, p. 105458, 2023.
- SHEN, Z.; LIU, F.; HUANG, S.; WANG, H.; YANG, C.; HANG, T.; TAO, J.; XIA, W.; XIE, X. Progress of flexible strain sensors for physiological signal monitoring. **Biosensors and Bioelectronics**, Elsevier, v. 211, p. 114298, 2022.
- SHI, Z.; MENG, L.; SHI, X.; LI, H.; ZHANG, J.; SUN, Q.; LIU, X.; CHEN, J.; LIU, S. Morphological engineering of sensing materials for flexible pressure sensors and artificial intelligence applications. **Nano-micro letters**, Springer, v. 14, n. 1, p. 141, 2022.
- SHIN, S.; LEE, H.-J.; CHANG, W. H.; KO, S. H.; SHIN, Y.-I.; KIM, Y.-H. A smart glove digital system promotes restoration of upper limb motor function and enhances cortical hemodynamic changes in subacute stroke patients with mild to moderate weakness: a randomized controlled trial. **Journal of Clinical Medicine**, MDPI, v. 11, n. 24, p. 7343, 2022.
- SOMMER, D.; LERMER, E.; WAHL, F.; G, L. I. L. Assistive technologies in healthcare: utilization and healthcare workers perceptions in germany. **BMC Health Services Research**, Springer, v. 25, n. 1, p. 223, 2025.

- SONG, J.; ZHENG, Y.; YANG, Q.; ZHANG, Z.; ZHAO, J.; QI, Y.; ZHAO, M.; WEI, X. Design and characterization of a piconewton mems force sensor. **Measurement**, Elsevier, v. 253, p. 117482, 2025.
- SPIELZ, A.; ENGLEDER, T.; MUNZ, M.; KARGE, M. Development of a smart fabric force-sensing glove for physiotherapeutic applications. **Current Directions in Biomedical Engineering**, De Gruyter, v. 5, n. 1, p. 513–515, 2019.
- STINEAR, C. M.; LANG, C. E.; ZEILER, S.; BYBLOW, W. D. Advances and challenges in stroke rehabilitation. **The Lancet Neurology**, Elsevier, v. 19, n. 4, p. 348–360, 2020.
- SUNDARAM, S.; KELLNHOFER, P.; LI, Y.; ZHU, J.-Y.; TORRALBA, A.; MATUSIK, W. Learning the signatures of the human grasp using a scalable tactile glove. **Nature**, Nature Publishing Group UK London, v. 569, n. 7758, p. 698–702, 2019.
- TRICCAS, L. T.; KENNEDY, N.; SMITH, T.; POMEROY, V. Predictors of upper limb spasticity after stroke? a systematic review and meta-analysis. **Physiotherapy**, Elsevier, v. 105, n. 2, p. 163–173, 2019.
- TSENG, K. C.; WANG, L.; HSIEH, C.; WONG, A. M. Portable robots for upper-limb rehabilitation after stroke: a systematic review and meta-analysis. **Annals of medicine**, Taylor & Francis, v. 56, n. 1, p. 2337735, 2024.
- VEERBEEK, J. M.; KWAKKEL, G.; WEGEN, E. E. van; KET, J. C.; HEYMANS, M. W. Early prediction of outcome of activities of daily living after stroke: a systematic review. **Stroke**, Lippincott Williams & Wilkins Hagerstown, MD, v. 42, n. 5, p. 1482–1488, 2011.
- VEERBEEK, J. M.; LANGBROEK-AMERSFOORT, A. C.; WEGEN, E. E. V.; MESKERS, C. G.; KWAKKEL, G. Effects of robot-assisted therapy for the upper limb after stroke: a systematic review and meta-analysis. **Neurorehabilitation and neural repair**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 31, n. 2, p. 107–121, 2017.
- VELDEMA, J.; JANSEN, P. Resistance training in stroke rehabilitation: systematic review and meta-analysis. **Clinical rehabilitation**, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 34, n. 9, p. 1173–1197, 2020.
- WANG, Y.; LI, X.; SUN, C.; XU, R. Effectiveness of kinesiography taping on the functions of upper limbs in patients with stroke: a meta-analysis of randomized trial. **Neurological Sciences**, Springer, v. 43, n. 7, p. 4145–4156, 2022.
- YANG, G.; DENG, J.; PANG, G.; ZHANG, H.; LI, J.; DENG, B.; PANG, Z.; XU, J.; JIANG, M.; LILJEBERG, P. *et al.* An iot-enabled stroke rehabilitation system based on smart wearable armband and machine learning. **IEEE journal of translational engineering in health and medicine**, IEEE, v. 6, p. 1–10, 2018.
- YANG, Z.; ZHANG, Q.; LUO, Q.; SHEN, J.; YANG, C.; LI, D.; YIN, X.; LIU, X. Smart gloves with strain/pressure dual-mode tactile sensor for uav flight control. **Materials & Design**, Elsevier, p. 114090, 2025.
- YAP, H. K.; LIM, J. H.; NASRALLAH, F.; YEOW, C.-H. Design and preliminary feasibility study of a soft robotic glove for hand function assistance in stroke survivors. **Frontiers in neuroscience**, Frontiers Media SA, v. 11, p. 547, 2017.

YU, Y.; NASSAR, J.; XU, C.; MIN, J.; YANG, Y.; DAI, A.; DOSHI, R.; HUANG, A.; SONG, Y.; GEHLHAR, R. *et al.* Biofuel-powered soft electronic skin with multiplexed and wireless sensing for human-machine interfaces. **Science robotics**, American Association for the Advancement of Science, v. 5, n. 41, p. eaaz7946, 2020.

ZAKRI, A. A.; PUTRI, R. Y.; ROMADONI, S.; HASNELI, Y. Iot-based flex sensor gloves for immobility patients: A prototype. **International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology**, v. 14, n. 3, 2024.

ZHAO, J.; ZHOU, H.; LIU, P.; DONG, Z.; HUO, H.; LI, H.; WANG, M.; ZHANG, S. Sensitivity enhancement for resonant multi-dimensional force sensor through integrated optimization of elastic structure and piezoelectric patch layout. **Sensors and Actuators A: Physical**, Elsevier, p. 116691, 2025.

ZILLE, M.; FARR, T. D.; KEEP, R. F.; RÖMER, C.; XI, G.; BOLTZE, J. Novel targets, treatments, and advanced models for intracerebral haemorrhage. **EBioMedicine**, Elsevier, v. 76, 2022.