

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

GEDEANE GOMES DA SILVA KENSHIMA

SISTEMA DE SENSORIAMENTO DE AUXÍLIO À MARCHA DO IDOSO

SÃO PAULO - SP

2020

GEDEANE GOMES DA SILVA KENSHIMA

SISTEMA DE SENSORIAMENTO DE AUXÍLIO À MARCHA DO IDOSO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Automação e Controle de Processos

Área de Concentração: Engenharia de Controle e Automação

Orientador: Prof. Dr. Paulo Marcos de Aguiar

Coorientador: Prof. Me. Daniel Rodrigues de Sousa

SÃO PAULO - SP

2020

Catalogação na fonte
Biblioteca Francisco Montojos - IFSP Campus São Paulo
Dados fornecidos pelo(a) autor(a)

k33s	<p>Kenshima, Gedeane Gomes da Silva Sistema de sensoriamento de auxílio à marcha do idoso / Gedeane Gomes da Silva Kenshima. São Paulo: [s.n.], 2020. 87 f.</p> <p>Orientador: Paulo Marcos de Aguiar Co-orientador: Daniel Rodrigues de Sousa</p> <p>Dissertação (Mestrado Profissional em Automação e Controle de Processos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, 2020.</p> <p>1. Idoso. 2. Queda. 3. Wearables. 4. Visão. 5. Esp8266. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo II. Título.</p> <p>CDD 629.8</p>
------	--



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
DIRETORIA GERAL/CAMPUS SÃO PAULO
Câmpus São Paulo, (11) 2763-7520, Rua Pedro Vicente, 625, CEP 01109-010, São Paulo (SP)

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa da Dissertação intitulada "Sistema de sensoriamento de auxílio à marcha do idoso" apresentada pela aluna **Gedeane Gomes da Silva Kenshima (SP3019632)** do Curso **MESTRADO PROFISSIONAL DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS (Câmpus São Paulo)**. Os trabalhos foram iniciados às **14:00** pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

Membros	IES	Presença	Aprovação/Conceito (quando exigido)
Paulo Marcos de Aguiar (Orientador)	IFSP	P	AP
Daniel Rodrigues de Sousa (Coorientador Interno)	IFSP	P	AP
Carlos Frajuca (Examinador Interno)	IFSP	P	AP
Jean Mendes Nascimento (Examinador Externo)	ETEC - CEGESP	P	AP
Alexandre Simiao Caporali (Suplente Interno)			
Lukas Andre Farias (Suplente Externo)			

Observações:

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da monografia, passou à arguição da candidata. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

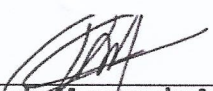
☒ Aprovado

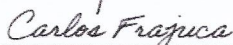
☐ Reprovado

Nota (quando exigido): _____

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

SÃO PAULO / SP, 19/08/2020


Paulo Marcos de Aguiar


Carlos Frajuca

Alexandre Simiao Caporali


Daniel Rodrigues de Sousa


Jean Mendes Nascimento

Lukas Andre Farias

À Guilherme Razgriz, que me ensinou muito sobre diversas áreas e foi essencial para que este trabalho fosse realizado.

AGRADECIMENTOS

À Deus, o Pai Celeste, pelo dom da vida.

Aos familiares, em especial minha mãe Jocenita, tia Suely e tia Janete. Obrigada pelo incentivo e ensinamentos da vida.

Ao Guilherme Razgriz, pela motivação e amizade. Sem seu incentivo não teria conseguido.

Ao orientador Paulo Marcos de Aguiar, pela orientação, auxílio, persistência e incentivo na viabilização deste trabalho.

Ao coorientador Daniel Rodrigues de Sousa, que me ajudou de forma única para que eu prosseguisse, além das ótimas conversas e conselhos.

Aos meus ex-alunos da Etec Albert Einstein, cada um de vocês é muito importante para mim nesta carreira docente.

Por fim, aos amigos que motivaram para que este mestrado fosse concluído: em especial, Andressa Siqueira, Denis Mosconi, Silvia Coelho e Patricia Fisch.

RESUMO

Este trabalho apresenta um sistema vestível para idosos de baixa visão, com objetivo de alertar por meio de sinais vibratórios possíveis obstáculos em um ambiente. O sistema desenvolvido é composto de dispositivos que se conectam entre si, enviando e recebendo dados de sensores de distância. Caso a distância de um obstáculo seja menor que um metro, sinais são enviados a motores de vibração localizados em um bracelete. Foram desenvolvidos dois protótipos de dispositivos sensores, que são utilizados sobre a coxa do usuário. Cada protótipo possui sensores diferentes (ultrassônico e *laser*) para análise de resultados. Os sensores *laser* obtiveram desempenho superior em tempo de resposta em relação ao ultrassônico, sendo recomendados para o desenvolvimento de dispositivos com melhor detecção de obstáculos, proporcionando mais segurança e maior autonomia ao idoso.

Palavras-chave: idosos; queda; *wearables*, visão, esp8266.

ABSTRACT

This work aims to develop a wearable system for the elderly with low vision, which alerts possible obstacles of an environment through vibrating signals. The system is made up of devices that connect to each other, sending and receiving data from distance sensors. If the distance is less than 1m, signals are sent to vibration motors located on a bracelet. Two prototypes of sensor devices have been developed, which are worn on the user's thigh. Each prototype has different sensors (ultrasonic and laser) for analyzing results. The laser sensors obtained superior performance in response time in relation to the ultrasonic, being recommended for the development of future devices with greater detection of obstacles, providing greater autonomy and well-being of the elderly.

Keywords: *elderly, tumble, wearables, vision, esp8266.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do olho.....	22
Figura 2: Tabela de texturas para treino de AVD.....	25
Figura 3 - Protótipo vestível de Torres.....	26
Figura 4 - Dispositivo de Thorp e Shannon.....	27
Figura 5 - (a) Keith Taft; (b) dispositivos, "George" e "Davi"	28
Figura 6 - Walkman lançado pela Sony em 1979.....	29
Figura 7 - Stereobelt, de Andreas Pavel	29
Figura 8 - HP-01, primeiro smartwatch.....	30
Figura 9 - Glass Enterprise Edition 2	31
Figura 10 - Playstation VR.....	32
Figura 11 - Gamer girls	32
Figura 12 - Apple Watch 5	33
Figura 13 - RepRapPro Huxley	35
Figura 14 - Placa Wiring	37
Figura 15 - Arduino Uno R3	38
Figura 16 - Arduino IDE	39
Figura 17 - Microcontrolador ESP8266	40
Figura 18 - Módulos ESP-01	41
Figura 19 - Plataforma NodeMCU	42
Figura 20 - Placa X-8266	43
Figura 21 - Sensor de obstáculos infravermelho	48
Figura 22 - Sensor ultrassônico	49
Figura 23 - Sensor VL53L0X V2.....	50
Figura 24 - Motor vibracall	51

Figura 25 - Motor de vibração 1027	51
Figura 26 - Protótipo cliente 1	52
Figura 27 - Circuito cliente 1	53
Figura 28 - Protótipo cliente 2 interno.....	54
Figura 29 - Protótipo cliente 2 externo	54
Figura 30 - Circuito cliente 2.....	55
Figura 31 - Protótipo servidor	56
Figura 32 - Circuito servidor	56
Figura 33 - Monitor Serial cliente	57
Figura 34 - Prompt comando cliente	58
Figura 35 - Monitor serial AP	59
Figura 36 - Prompt de comando AP	59
Figura 37 - Montagem com sensor HC-SR04	60
Figura 38 - Tela Monitor Serial sensor ultrassônico	61
Figura 39 - Montagem com sensor VL53LXX V2.....	62
Figura 40 - Tela Monitor Serial sensor laser	62
Figura 41 - Montagem teste botão e LED	63
Figura 42 - Montagem teste com sensor ultrassônico e LED.....	64
Figura 43 - Protótipo cliente 1 vestido	66
Figura 44 - Espaço de teste 3D	67
Figura 45 - Caminho percorrido em testes	67
Figura 46 - Protótipo cliente 2 ao corpo	68
Figura 47 - Protótipos e equipamentos para simulação de situação do idoso (a) Com sensor ultrassônico (b) Com sensores laser	69
Figura 48 - Análise de desempenho dos protótipos.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fabricantes e características microcontroladores	36
Tabela 2 - Relação de obstáculos	68
Tabela 3 - Descrição dos Ensaios	70
Tabela 4 - Tempo de detecção, ensaio 1	70
Tabela 5 - Tempo de detecção, ensaio 2.....	71
Tabela 6 - Tempo de detecção, ensaio 3.....	72
Tabela 7 - Tempo de detecção, ensaio 4.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	<i>Access Point</i> (Ponto de Acesso)
AVD	Atividade de vida diária
BEPA	Boletim Epidemiológico Paulista
BSD	<i>Berkeley Software Distribution</i>
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i> (Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa)
DMRI	Degeneração Macular Relacionada à Idade
DIY	<i>Do-it-yourself</i> (faça-você-mesmo)
ECG	Eletrocardiograma
GHz	Giga-hertz
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBSG	<i>Internet Business Solutions Group</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
IDII	<i>Interaction Design Institute Ivrea</i>
IMO	Instituto de Moléstias Oculares
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
IP	<i>Internet Protocol</i> (Protocolo de internet)
LAN	<i>Local area network</i> (rede de área local)
mAh	mili-Ampère hora
NFC	<i>Near Field Communication</i> (Comunicação por Campos Próximos)
PC	<i>Personal Computer</i> (computador pessoal)
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memória de uso aleatório)

RepRap	<i>Replicator for Rapid Prototyping</i> (Replicadora de prototipagem rápida)
ROM	<i>Read-only memory</i> (memória somente de leitura)
SSID	<i>Service Set Identifier</i> (Identificador de Conjunto de Serviços)
TA	Tecnologia Assistiva
VR	<i>Virtual Reality</i> (Realidade Virtual)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Motivação	18
1.2 Problema e justificativa	18
1.3 Objetivos.....	19
1.4 Principais contribuições.....	19
1.5 Organização do texto	20
2 DESAFIOS DA BAIXA VISÃO NA POPULAÇÃO IDOSA	21
2.1 Quedas de idosos	21
2.2 Patologia da visão relacionadas ao envelhecimento.....	21
2.3 Facilitações para idosos com baixa visão	23
2.4 Tecnologia assistiva.....	24
3 CIRCUITOS VESTÍVEIS	27
3.1 Histórico	27
3.2 Campos de atuação	31
3.3 Características.....	33
3.4 <i>Do-it-yourself</i> (DIY).....	34
4 SISTEMAS EMBARCADOS	36
4.1 Microcontroladores.....	36
4.2 Plataforma Arduino	37
4.3 ESP-8266.....	40
5 CONECTIVIDADE.....	44
5.1 Internet das Coisas.....	44
5.2 Redes sem fio Wi-Fi.....	45
5.3 IP.....	45

5.4 Servidor – cliente.....	46
6 PROTÓTIPOS	48
6.1 Sensores de distância	48
6.2 Motor de vibração.....	50
6.3 Protótipos cliente	52
6.4 Protótipo servidor	55
7 TESTES E RESULTADOS	57
7.1 Testes de conectividade	57
7.2 Testes com sensores	60
7.3 Testes de conexão entre circuitos	63
7.4 Testes com os protótipos	65
7.5 Resultados.....	70
8 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	75
BIBLIOGRAFIA	77
APÊNDICE A – Tabela de custos	87

1 INTRODUÇÃO

A marcha, segundo definição do Dicionário Online de Português, consiste na ação ou efeito de marchar; modo de caminhar (DICIO, 2016). É a interação entre os sistemas muscular, ósseo e nervoso por meio de trabalho energético (LENARDT *et al.*, 2015) que resulta na locomoção, equilíbrio e postura.

As Atividades de Vida Diária (AVDs) consistem em tarefas básicas como mobilidade, vestir-se, tomar banho, alimentação, dentre outras. A locomoção faz parte de muitas destas atividades, que são essenciais para a independência e saúde de cada indivíduo.

As alterações funcionais, orgânicas e psicológicas são consideradas como envelhecimento normal e estas alterações são consequência deste processo (SILVA *et al.*, 2014). O envelhecimento compromete o equilíbrio e a mobilidade, causando quedas, fraturas e até mesmo o óbito.

As quedas são causadas por fatores relacionados ao ambiente, como pisos, escadas, obstáculos, dentre outros; e fatores relacionados ao indivíduo, como alterações que se referem diretamente às alterações fisiológicas ligadas ao envelhecimento do indivíduo (DIAS *et al.*, 2011). Destas alterações, o sistema sensorial, principalmente o visual, é o primeiro a sofrer devido ao envelhecimento (MENEZES e BACHION, 2012).

Supõe-se que idoso, mesmo com a baixa visão devido ao envelhecimento, poderá realizar suas AVDs caso possua um equipamento de alerta aos possíveis obstáculos em ambientes de convívio. Este alerta deve ser dado à uma distância segura para evitar colisões e possíveis quedas. Por isso, deve-se comparar a usabilidade e precisão entre sensores de distância para este equipamento. A Internet das Coisas (IoT) possibilita a comunicação entre dois ou mais dispositivos através de uma pequena rede sem fio. Unindo a conectividade proporcionada pelo IoT com as características dos circuitos vestíveis, é possível o desenvolvimento de equipamentos que proporcionam maior autonomia do usuário.

Um exemplo na medicina de um equipamento *wearable* é o Medtronic 670G, um sistema fechado composto de um transmissor e uma bomba de insulina com medidor de glicose. Este sistema realiza a aferição dos níveis de insulina do usuário e faz o cálculo de quanto deve ser aplicado no paciente, com comunicação sem fio (BRUTSAERT, 2016). Porém, uma pesquisa do ENDO 2019 – *The Endocrine Society Annual Meeting* diz que em 9 meses cerca de 40% dos usuários do sistema deixaram de usá-lo, por dificuldades técnicas no uso

(NAINGGOLAN, 2019). Mesmo com dificuldades no uso do Medtronic 670G, ele é considerado um grande avanço na ciência.

O sistema de sensoriamento de auxílio à marcha do idoso proposto consiste em dois dispositivos vestíveis, um contendo sensor de distância e outro com motores de vibração, que se comunicam via Wi-Fi. O sistema visa auxiliar o usuário, para que se detectem obstáculos e sejam enviados alertas através de massas vibratórias sobre um bracelete, isto é, proporciona um *feedback* da informação relevante para a marcha sobre seu pulso.

Este trabalho traz um sistema para autonomia do idoso por meio da tecnologia. Utilizando a tecnologia vestível para dar *feedback* ao idoso, sendo um equipamento leve e portátil a ser usado, a fim de evitar colisões e possíveis acidentes. Tratando-se de um sistema *wearable*, ou seja, circuito vestível, faz com que o equipamento seja parte de uma roupa ou acessório do usuário, trazendo usabilidade e conforto a quem estiver usando.

Este equipamento possibilita a locomoção do idoso em ambientes internos, para que realize suas AVDs de forma mais segura. A informação do obstáculo chegará de forma lógica e com tempo seguro ao usuário através das massas vibratórias, isto é, proporcionará um *feedback* da informação relevante para a marcha.

No trabalho apresentado por Aguiar (2006), é apresentado um estudo onde o usuário de prótese de membro superior (MS) recebe informações (*feedback*) da força aplicada pela prótese, e da temperatura de algum objeto na direção da mesma, ambos de forma proporcional ao estímulo. No caso da força, o *feedback* se dá por massas vibratórias, parecidas com o que é utilizado no presente trabalho.

É importante observar que o equipamento traz benefícios de uso porém não encerram os problemas oriundos da baixa visão devido ao envelhecimento. O uso do equipamento proposto exige treinamento com profissionais, desde a indicação do médico ao treinamento adequado realizado por fisioterapeutas.

O presente trabalho está sob licença *FreeBSD (Berkeley Software Distribution)*, onde a autora permite o uso de código-fonte, mas não tem a responsabilidade em qualquer dano causado pelo uso e/ou modificação do hardware/software (OPEN SOURCE INITIATIVE, 2018).

1.1 Motivação

Cerca de 35% dos idosos preferem manter-se em seus lares do que viver em Instituições de longa permanência, isto faz com que o uso de Tecnologia Assistiva (TA) permita que estes idosos tenham um maior grau de autonomia em meio às limitações da idade (NEVES, 2018).

Para permitir esta autonomia, se faz necessário o uso de equipamentos que sejam de fácil uso, leve, portátil e seguros. Se o sistema usado pelo idoso for algo pesado e desconfortável, levará a desistência do seu uso; se não transmitir segurança tornará seu uso restrito e não trará um benefício importante. Os equipamentos atuais não permitem ainda ao idoso uma marcha segura que o leve, por exemplo, a caminhar de forma ereta, pois existe a grande preocupação com os obstáculos. Caminhar de forma ereta além dos benefícios fisiológicos, uma vez que a caixa torácica permite aos órgãos um melhor funcionamento, como os pulmões, traz benefícios psicológicos e sociais ao usuário.

Com o grande desenvolvimento na área dos *wearables* e *internet* das coisas IoT, percebeu-se a possibilidade de contribuição desta área no auxílio da mobilidade dos idosos, mesmo sendo como algo complementar visando trazer segurança e confiança.

1.2 Problema e justificativa

O problema de quedas é crucial na população idosa, visto que as quedas podem levar a restrição de atividades, possíveis fraturas e até mesmo óbito. São responsáveis, direta ou indiretamente por 15,05% dos atendimentos por quedas no Brasil, população de 60 anos ou mais (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013). Segundo o BEPA (Boletim Epidemiológico Paulista), as mortes no Estado de São Paulo por quedas tiveram um aumento de 355%, entre 2000 e 2016 (MENDES, 2019). Pessoas acima de 75 anos foram as maiores vítimas, com cerca de 1809 mortes de 3361 (PREITE SOBRINHO, 2019).

Segundo Dias *et al.* (2011), existem fatores intrínsecos que podem levar a queda do idoso. Dentre estes, são citados:

- Marcha comprometida;
- Depressão;
- Sedentarismo;
- Danos no equilíbrio;
- Danos na visão.

Como a visão representa uma parcela significativa nas atividades de vida diária, e é utilizada como importante elemento do sistema sensorial, neste trabalho é apresentada uma estratégia que visa contribuir na segurança durante a marcha do idoso baseada na deficiência de visualização. Parte do problema pode ser resolvido com adaptações nas residências, pois a maioria não possui uma estrutura pensada no bem-estar dos idosos, necessitando de muitas adaptações e facilitações para a realização das AVDs. Outra resolução é adaptar o idoso às situações cotidianas, por exemplo, com uso de dispositivos vestíveis para realizar a marcha com segurança.

Uma vez que o idoso tenha mais segurança ao caminhar, estando mais consciente sobre os obstáculos à sua volta, dando-lhe um grau de independência maior, permitindo a realização de deslocamentos com segurança que podem ser longos, como uma caminhada, e curtos como o deslocamento até um banheiro, por exemplo.

O equipamento foi projeto para uso *indoor*, ou seja, em ambientes internos, que reduz o risco de acidentes domésticos. Porém, com devidos ajustes e experimentação, pode ser estendido para uso em ambientes externos, diminuindo o número de quedas e consequentemente de lesões e óbitos.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é fazer uma vestimenta que visa auxiliar a marcha de idosos com problemas de baixa visão, devido ao envelhecimento, a evitar quedas e acidentes, com tecnologia *wearable* ainda não empregada nesta situação e assim permitir uma marcha mais segura e saudável.

Os objetivos específicos são:

- Propor um sistema eletrônico para Tecnologia Assistiva à idosos em uma peça de vestuário;
- Verificar qual sensor de distância (obstáculo) melhor se aplica neste caso;
- Testar e validar a solução em um cenário real.

1.4 Principais contribuições

Com a pesquisa bibliográfica notou-se que não há abordagem utilizando equipamentos vestíveis para auxiliar idosos em marcha, tampouco outros equipamentos não vestíveis. Desta

forma mais que um equipamento de auxílio, o que se propõe através deste trabalho é uma abordagem mais completa partindo de uma avaliação global da situação do idoso durante a marcha e a solução sistêmica do caso, ou diminuição dos infortúnios que estão presentes.

Outra contribuição deste trabalho é a versatilidade de uso de um equipamento para o público idoso que necessita de cuidados especiais para a sua locomoção devido à visão. Isto faz com que seja objeto de estudos em áreas como:

- Oftalmologia, na recomendação para o uso do equipamento a seus pacientes idosos após;
- Fisiatria, na recuperação de pacientes que sofreram traumas que requerem maior cuidado na locomoção;
- Geriatria, como ferramenta na prevenção de acidentes possivelmente fatais em indivíduos com idade avançada, e também como acessório para melhoria da qualidade de vida do paciente idoso.

A contribuição pode ser estendida a todas as pessoas com problemas de baixa visão, não necessariamente idosas. Todas as áreas citadas requerem avaliação e validação prévia do profissional de saúde. O sistema proposto não se trata da solução final para o idoso, mas traz benefícios ao tratamento quando indicado por profissionais das áreas citadas anteriormente.

1.5 Organização do texto

No Capítulo 2 é abordada a problemática dos idosos, tópicos relacionados às quedas e patologia dos olhos. No Capítulo 3 é abordado o tema circuitos vestíveis, com histórico, características, áreas de atuação e o movimento *Faça-você-mesmo*. Os Sistemas Embarcados são abordados no Capítulo 4, com as temáticas microcontroladores, plataforma Arduino e ESP8266. No Capítulo 5 é tratada a conectividade, com os temas Internet das Coisas, IP, relação servidor-cliente e conexões sem fio. Os protótipos deste trabalho são explanados no Capítulo 6, mostrando os diagramas dos circuitos servidor e cliente, bem como sensores para medição de distância e atuadores. O Capítulo 7 aborda os testes realizados, bem com os resultados obtidos. As considerações finais e melhorias futuras são abordadas no capítulo 8.

2 DESAFIOS DA BAIXA VISÃO NA POPULAÇÃO IDOSA

Neste capítulo serão tratados temas como quedas e patologias relacionadas a visão, além de facilitações para baixa visão e Tecnologias Assistivas.

2.1 Quedas de idosos

As pessoas passam por diversas mudanças durante o processo de envelhecimento. Entre os idosos com idade acima de 65 anos, há maior incidência de quedas, que é o ato ou efeito de cair, tombo.

As quedas levam o idoso à dependência funcional, morbidade e até mortandade (PINHO *et al.*, 2005). A marcha, que é um dos movimentos mais comuns do ser humano, possui seu desempenho afetado também por quedas e outros fatores, sendo um indicador do estado de saúde e independência (LENARDT *et al.*, 2015). O estudo apresentado por Lenardt *et al.* (2015) mostra a velocidade de marcha média entre 203 idosos foi de 0,9 m/s, em uma UBS (Unidade Básica de Saúde) de uma capital localizada na região sul do Brasil.

As quedas causam lesões, fraturas e distúrbios emocionais, sendo resultantes de fatores ambientais e do indivíduo (MACIEL, 2010). Dentre os fatores ambientais, podemos citar a iluminação, condições de pisos, órteses mal adaptadas dentre outros. Já os fatores do indivíduo consistem nas lesões no sistema nervoso, quedas anteriores, distúrbios de equilíbrio e a visão, um dos órgãos mais afetados no envelhecimento.

A visão é afetada de forma interna e externa, pelas mais diversas situações, desde a exposição à poeira, luz e produtos até doenças do próprio organismo (MENDES, 2008). A visão é um processo complexo, que integra a estrutura do olho, controle motor e neural (ESQUENAZI *et al.*, 2014). Dadas as informações visuais e sensoriais, ocorre o controle de postura e alinhamento a cada situação, fazendo com que haja o equilíbrio do corpo. Devido ao envelhecimento, o sistema de visão perde a eficiência, aumentando o risco de quedas. Para entender melhor sobre a visão, serão abordadas algumas patologias referentes à visão.

2.2 Patologia da visão relacionadas ao envelhecimento

Com o envelhecimento ocorrem problemas de redução, distorção e até perda da visão, como no caso da Degeneração Macular Relacionada à Idade (DMRI) (GARRITY, 2019). Estas alterações na visão prejudicam a identificação de obstáculos no solo, como objetos, buracos, características de terreno entre outros, o que leva à pessoa a ter insegurança ao caminhar. Na Figura 1 é apresentada a estrutura do olho, onde alguns dos principais elementos envolvidos no

processo de redução ou perda da visão são considerados e uma breve abordagem sobre cada um deles.

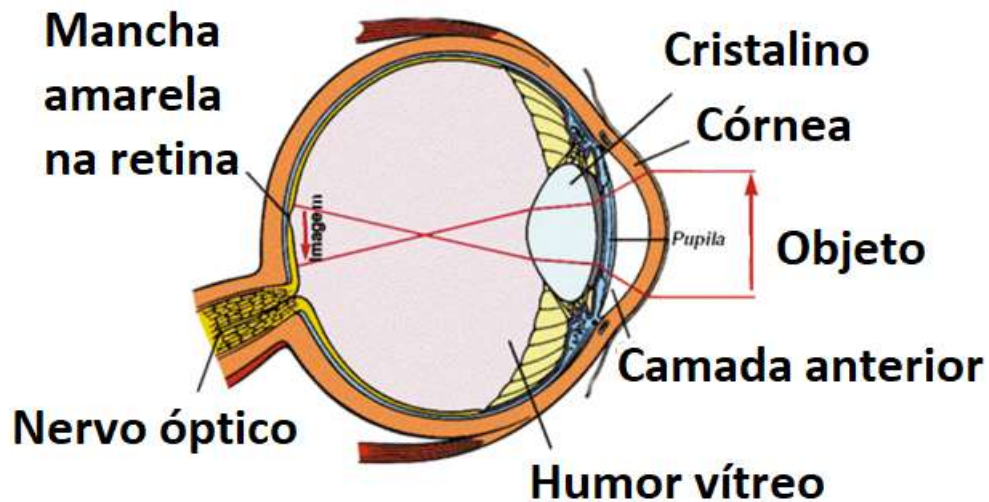


Figura 1 - Estrutura do olho

Fonte: Adaptado de RAMOS, 2006

- **Córnea:** parte protetora do olho, tem função no foco da luz da pupila a ser direcionada para a retina. Sua transparência e curvatura são fundamentais para a boa visão (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017);
- **Pupila:** responsável pela entrada de luz (SANTOS, 2019). É a abertura central da íris;
- **Cristalino:** responsável pelo ajuste da luz que vem da pupila e realiza o foco dos objetos com distâncias diferentes (SANTOS, 2019);
- **Retina:** transforma a luz recebida pelo cristalino em impulsos elétricos, através de fotorreceptores. É uma membrana que preenche a parte interna ao redor do olho (RAMOS, 2006);
- **Nervo óptico:** faz com que os impulsos elétricos vão para o cérebro (RAMOS, 2006);

Alguns destes elementos são afetados com o envelhecimento, sendo a causa de algumas doenças. Estas são algumas patologias relacionadas, segundo Garrity (2019) e Mendes (2008):

- **Catarata:** opacidade do cristalino, fazendo com que a visão perca o contraste e fique embaçada. Faz com que haja perda de visão de forma indolor e progressiva (KHAZAENI, 2018);

- **Degeneração Macular:** gera lesão da mácula (mácula é a área central e vital da retina), fazendo com que se perca gradativamente a visão (MEHTA, 2019);
- **Glaucoma:** o nervo óptico sofre uma lesão progressiva, que pode ocorrer devido à pressão intraocular. Pode levar à cegueira de forma lenta e despercebida (RHEE, 2017);
- **Retinopatias:** são lesões na retina causadas por doenças orgânicas. Estas doenças podem ser a diabetes, pressão alta, tumor cerebral, insuficiência renal, dentre outras (MENDES, 2008);
- **Coagulação sanguínea:** é causada pela trombose de vasos da retina. A veia comprimida faz com que se formem coágulos, o sangue não circula e leva ao entupimento da veia. Afeta a visão de forma a levar a cegueira (MENDES, 2008);
- **Olho seco:** secura da membrana que reveste a pálpebra e o branco do olho, chamada conjuntiva; e da córnea. Causa irritação nos olhos, pouca produção de lágrimas e podem provocar coceira (ROAT, 2018);
- **Frouxidão palpebral:** ocorre através do envelhecimento quando há formação de hérnia da gordura na pálpebra. Há alteração no sistema de dreno das vias lacrimais e pode ser curada com cirurgia plástica (MENDES, 2008);
- **Presbiopia:** também chamado de ‘vista cansada’, quando os olhos estão menos aptos a focar em objetos próximos (GARRITY, 2019).

Todas as patologias citadas contribuem para a baixa ou até ausência de visão caso não tratadas a tempo, sendo algumas delas de forma silenciosa e despercebida. Para atender às necessidades destes idosos, foram desenvolvidas adaptações para acessibilidade nas atividades de vida diária.

2.3 Facilitações para idosos com baixa visão

Idosos com baixa visão possuem diversas limitações em atividades essenciais, como leitura e escrita, dirigir, identificar objetos, caminhar, dentre outras. Isto faz com que o idoso possua dificuldades no convívio e até mesmo custos devido à acidentes e quedas (IMO, 2020). Segundo o oftalmologista Juan Caballero, para o site IMO (Instituto de Moléstias Oculares), 18% das fraturas de quadris é decorrente da baixa visão, gerando custos médicos.

Especialistas como Pris Roger da VisionAware (EQUIPE LEDERMAN, 2020) e a equipe do IMO (2020), recomendam dicas para facilitar a convivência do idoso de baixa visão:

- **Aumentar coisas:** adquirir itens com letras grandes, como telefones com teclas grandes, livros com letras maiores, uso de lupa para leitura etc.
- **Cores vivas:** aumento da iluminação e cores nos objetos que dão contraste. Um exemplo seria um prato de cor escura para comer arroz, uma caneca clara para tomar café dentre outros. Também é válido para móveis, escada, itens de banheiro e parede.
- **Usar tecnologia:** verificar dispositivos que realizam leitura, aplicativos em *smartphones* e *tablets* para ampliar tela etc.
- **Fazer identificações:** marcar com letras grandes ou etiquetas com cores distintas os medicamentos, itens usuais como chaves e carteira, locais de muito uso na geladeira etc.
- **Consultar oftalmologista:** o tratamento indicado sempre é dado por um especialista, que pode realizar o melhor diagnóstico.

Segundo os itens listados anteriormente, os ambientes de convívio de um idoso com baixa visão precisam de mudanças significativas, como aumento de tamanho de itens de uso e troca de cores. Nem sempre é possível realizar estas mudanças de imediato, por questões de custos e espaço, por isto a importância de um equipamento para auxiliar a detecção de obstáculos e evitar maiores lesões neste idoso.

2.4 Tecnologia assistiva

A Tecnologia Assistiva (TA) é definida conforme a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência nº 13.146/2015, em seu artigo 3º, parágrafo III que diz: “tecnologia assistiva ou ajuda técnica: produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivem promover a funcionalidade, relacionada à atividade e à participação da pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida, visando à sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social;” (BRASIL, 2015).

Tais tecnologias não são restritas somente à deficientes à longo prazo, mas traz benefícios aos idosos e pessoas com deficiência temporária (MONTEIRO *et al.*, 2016).

No trabalho apresentado por Tavares e Souza (2012), são abordadas as barreiras de acesso à inclusão digital dos idosos. Visto que os números da população idosa estão em crescimento, existe a alternativa da TA para que os idosos não se sintam excluídos da sociedade.

Neves (2018) traz em seu trabalho o acompanhamento do idoso em sua residência através da TA chamada tele assistência, com entrevistas e questionários para avaliar a qualidade

de vida do idoso que utiliza desta tecnologia, tendo como maior satisfação no uso da TA quando a decisão do uso foi do familiar e do usuário.

Silva (2011) desenvolveu uma pesquisa em uma associação que abriga idosas e deficientes em Santa Maria-RS, onde foram selecionados sujeitos como amostra e a partir de então, foram desenvolvidos equipamentos de TA de baixo custo para promover a autonomia destas idosas em suas atividades de vida diária (AVD). Um dos projetos pode ser visto na Figura 2:



Figura 2: Tabela de texturas para treino de AVD

Fonte: SILVA, 2011

Na Figura 2 é mostrada uma tabela com seis texturas diferentes para treino de identificação de estampas nas roupas utilizadas pela idosa com deficiência visual. Suas roupas receberam uma etiqueta de mesma textura para diferenciar as diferentes cores ou estampa (SILVA, 2011).

Um dispositivo vestível para monitoração de idosos a fim de identificar quedas foi desenvolvido por Torres (2018), conforme visto na Figura 3:



Figura 3 - Protótipo vestível de Torres

Fonte: TORRES, 2018

Este dispositivo mostrado na Figura 3 contém sensores de aceleração e um sistema de desenvolvimento microcontrolado *EnOcean* vestido sobre o corpo, que por vez se comunica com um sistema de automação residencial em uma plataforma *Raspberry Pi* para detectar quedas do usuário (TORRES, 2018).

Existem diversas formas para auxiliar os idosos em Tecnologia Assistiva, sendo dispositivos vestíveis uma opção que são tratados no próximo capítulo.

3 CIRCUITOS VESTÍVEIS

Dispositivos que podem ser usados como acessórios e roupas são chamados *Wearables* ou Circuitos vestíveis. Neste Capítulo é tratado o histórico, áreas de atuação, características e o movimento *Faça-você-mesmo*.

3.1 Histórico

A tecnologia *wearable* é aquela que possui eletrônica vestível, que pode ser parte de um material da roupa ou um complemento. Apesar de parecer um termo relativamente novo, foi usado pela primeira vez em 1996, pela DARPA (sigla em inglês *Defense Advanced Research Projects Agency*, Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa), juntamente com outros termos, como “computação portátil” (ORDÓÑEZ, 2016).

Os primeiros computadores portáteis surgiram de maneira bastante inusitada, ambas relacionadas a jogos de azar, este dispositivo tinha o tamanho de um maço de cigarros e pode ser visto na Figura 4.



Figura 4 - Dispositivo de Thorp e Shannon

Fonte: KNIBBS (2015)

O dispositivo visto na Figura 4 foi desenvolvido pelos professores de Matemática Edward O. Thorp e Claude Shannon. Este dispositivo foi criado com uso de transistores e

interruptores manipuláveis pelo dedão do pé para informar ao computador quando a roleta girasse e recebiam retornos de áudio para onde deviam ser feitas as apostas (KNIBBS, 2015).

Na década de 70 também foi criado dispositivos vestíveis para fins de jogos de azar, como visto na Figura 5.

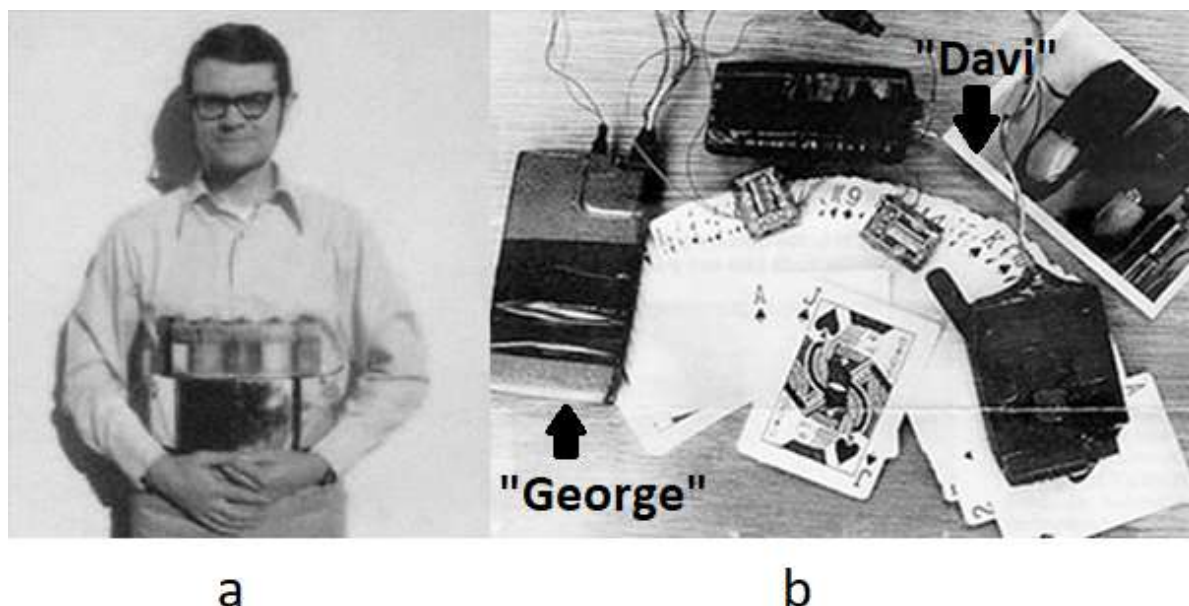


Figura 5 - (a) Keith Taft; (b) dispositivos, "George" e "Davi"

Fonte: Adaptado de Knibbs (2015)

Keith Taft (Figura 5a) era engenheiro e tornou-se viciado em jogos de cassino durante uma viagem, após receber um *voucher*. Durante dois anos ele se dedicou a desenvolver um computador de 16 bits chamado “George” (Figura 5b). Este computador era amarrado à sua cintura e servia para contar as cartas. Funcionava com LEDs que indicavam quando deveria ou não jogar. Porém, além de pesar 6 kg, causou uma queimadura em Taft devido ao ácido da bateria, que espirrou em seu dorso (KNIBBS, 2015). O sistema “Davi” (Figura 5b) foi desenvolvido com uso de óculos personalizados e o computador tinha o tamanho de um maço de cartas. Era semelhante ao dispositivo de Thorp, onde o dedo do pé manipulava interruptores e o computador fazia cálculos.

Um dos produtos portáteis de maior sucesso foram os *walkmans*, lançados pela Sony em 1979, conforme ilustrado na Figura 6.



Figura 6 - Walkman lançado pela Sony em 1979

Fonte: Picciarelli (2011)

O Walkman visto na Figura 6 foi criado por Nobutoshi Kihara, engenheiro de audiovisual da Sony, a pedido do presidente Akio Morita. O dispositivo foi desenvolvido para fins pessoais de Morita, porém foi fidelizado pelos jovens de forma rápida (PICCIARELLI, 2011). A ideia original não veio da Sony, mas de um alemão que foi criado no Brasil desde os seis anos, Andreas Pavel, com o dispositivo chamado de *Stereobelt*, mostrado na Figura 7.

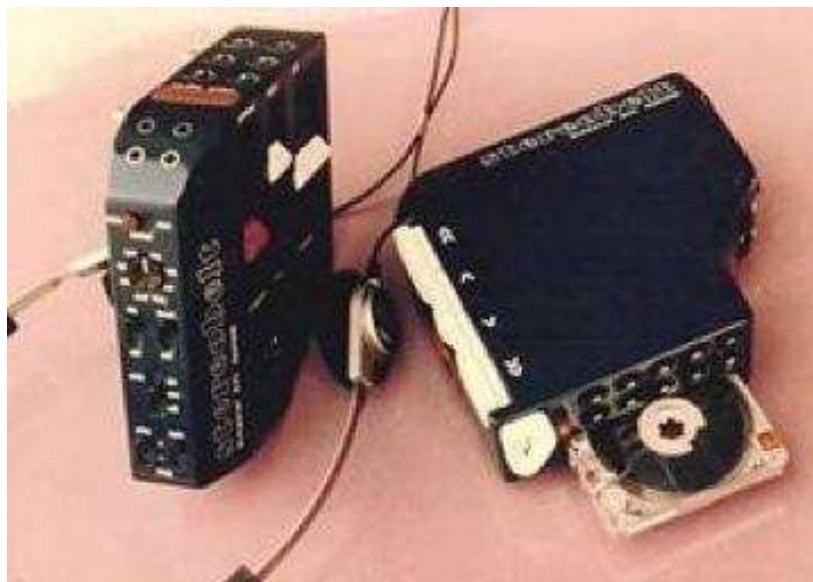


Figura 7 - Stereobelt, de Andreas Pavel

Fonte: Picciarelli (2011)

Ele inventou o *Stereobelt* em 1972, no Brasil e registrou a patente na Itália em 1977. As negociações entre Pavel e a Sony em relação a patente se finalizaram em 2004, mesmo com o processo de Pavel contra a Sony ter se iniciado em 1980 (PICCIARELLI, 2011).

Outro dispositivo bastante conhecido na área dos *wearables* são os *smartwatches*, visto na Figura 8.



Figura 8 - HP-01, primeiro smartwatch

Fonte: Redação Canal Tech (2015)

O primeiro *smartwatch*, mostrado na Figura 8, foi desenvolvido pela Hewlett-Packard (HP) em 1977. Seu nome era HP-01 e possuía um teclado com 28 botões, tela com 7 dígitos e diversas funcionalidades, entre alarme, calculadora, timer e calendário. Vinha com uma pequena caneta e pesava 170 gramas (REDAÇÃO CANALTECH, 2015). Foi descontinuado em 1979.

Os *wearables*, como visto nos exemplos pioneiros citados, possuem uma gama de aplicações e funcionalidades. Na seção 3.2 serão abordadas as diversas áreas de atuação.

3.2 Campos de atuação

Os *wearables* estão presentes em muitas áreas, desde a saúde até a moda. Serão mencionadas algumas destas áreas, além dos dispositivos no mercado, também chamados de *gadgets*:

- **Mundo corporativo:** Google Glass são os óculos inteligentes desenvolvidos pela Google, ilustrado na Figura 9, sendo um dos *gadgets* mais famosos.



Figura 9 - Glass Enterprise Edition 2

Fonte: Google (2019)

Na Figura 9 é mostrada a versão recente *Glass Enterprise Edition 2*. Possui funcionalidades de Realidade virtual e aumentada, com Wi-Fi, Bluetooth, câmera, processador e sistema operacional Android (GOOGLE, 2019). Inicialmente era vendido para o público por US\$ 1500 (um mil e quinhentos dólares), mas devido a reclamações de privacidade e funcionalidade, foi descontinuado do público geral e hoje é oferecido ao mundo corporativo (TREVISAN e SANTINO, 2019). Exemplos de locais de utilização são fábricas, área agrícola e medicina.

- **Entretenimento:** A realidade virtual está presente nos óculos VR (*Virtual Reality* ou Realidade Virtual). Um dos modelos disponíveis pela Sony encontra-se na Figura 10.



Figura 10 - Playstation VR

Fonte: Techtudo (2019)

Na Figura 10 é mostrado o *gadget* Playstation VR, da Sony (TECHTUDO, 2019). Lançado em outubro de 2016, possui tela OLED e resolução *Full HD* e compatível com o console Playstation 4. Existem outros fabricantes, como Samsung, HTC e até uma versão de baixo custo de papelão chamada Google *Cardboard*, vendida ou montada pelo próprio usuário.

- **Moda:** Os desfiles de moda não são mais os mesmos após a inserção de circuitos. Na Figura 11 é possível visualizar um exemplo de um desfile com *wearables*.



Figura 11 - Gamer girls

Fonte: MakeFashion (2016)

Na Figura 11 são mostradas as Gamer Girls, um projeto da empresa canadense MakeFashion. Trata-se de um par de roupas estilo game retrô 8 bits pareável com *smartphones*

via Bluetooth (MAKEFASHION, 2016). Possui um painel de LEDs endereçáveis frontal e difusores de luz nos ombros para indicar a pontuação ao oponente no jogo.

- ***Fitness e saúde:*** o monitoramento de sinais vitais pode ser feito através de um *smartwatch*, como visto na Figura 12.



Figura 12 - Apple Watch 5

Fonte: Apple (2019)

Existem diversos modelos de *smartwatches* no mercado. O visto na Figura 12 é o Apple Watch 5, que possui sistema operacional watchOS 6, capacidade de armazenamento de 32 GB, conectividade Wi-Fi, *Bluetooth*, *NFC (Near Field Communication)* (APPLE, 2019). Possui sensores para monitoramento cardíaco, eletrocardiograma (ECG), exposição à ruídos e rastreamento por GPS (Sistema de Posicionamento Global). Também é possível acompanhar o ciclo menstrual através de um aplicativo.

Apesar de todas as funcionalidades, todos tratam-se de dispositivos vestíveis, que devem possuir outras características, como bem-estar do usuário. Na seção 3.3 serão abordadas algumas destas características.

3.3 Características

Para a confecção de um dispositivo *wearable*, deve-se levar em conta algumas características:

- ***Estética:*** ninguém quer usar um dispositivo em seu corpo que seja “feio”. A aparência é algo que leva muito em conta para o usuário.

- **Usabilidade:** um gadget deve proporcionar uma boa experiência a quem está usando, pois se não tem um propósito bem definido, por que ele usaria?
- **Conforto:** os circuitos eletrônicos não podem ser grandes, pesados e volumosos sobre o corpo. Deve-se focar em dispositivos que tenham curvas, pequenos e leves (HARTMAN, 2014). Ao observar as Figuras 9, 10 e 12 é possível ver as curvaturas e tamanho reduzido dos dispositivos de mercado.
- **Durabilidade:** Os corpos sempre estão em movimento e em diversos tipos de ambiente. Deve-se pensar em dispositivos que possuam proteção e isolamento contra os movimentos, poeira, umidade, a fim de não serem danificados e/ou causarem danos aos usuários.

O desenvolvimento de um dispositivo *wearable* não se limita somente a grandes fabricantes. Em tempos de Tecnologia avançada, é valorizado o artesanal, feitos em casa. Na seção 3.4 será abordada a cultura *Faça-você-mesmo*.

3.4 Do-it-yourself (DIY)

A sigla DIY vem dos termos *do-it-yourself* ou *Faça-você-mesmo*. Trata-se da montagem, fabricação ou conserto por conta própria. Isto gerou a propagação do Movimento *Maker*, último termo em inglês, que traduzido livremente significa “fazedor”, ou seja, aquele que fabrica, monta ou conserta por si mesmo.

Há duas vertentes para surgimento deste movimento. Segundo o site Convex (2019), o movimento surgiu na década de 50, devido ao momento pós guerra, que gerou altos valores na mão de obra e a escassez de materiais. Já Cruzeiro (2019) aborda a Grande Recessão entre os anos 2005 e 2007 por fatores culturais, econômicos e tecnológicos, onde surgiu a necessidade fez com que surgissem novas formas de trabalho.

Um dos marcos no Movimento *Maker* foi a criação da revista *Make*, que compartilha diversos projetos estilo DIY, em janeiro de 2005; e a *Maker Faire*, uma grande feira onde *makers* compartilham seus projetos feitos em casa. Ambos os projetos se iniciaram nos EUA, mas se espalharam pelo mundo todo.

Outro momento marcante para os *makers* foi o uso da impressão 3D para prototipagem. O projeto RepRap (sigla *Replicator for Rapid Prototyping* ou Replicadora de prototipagem

rápida) para fabricação e montagem de uma impressora 3D nos anos 2000 foi um marco para os *makers*. A impressora 3D do projeto RepRap pode ser vista na Figura 13:

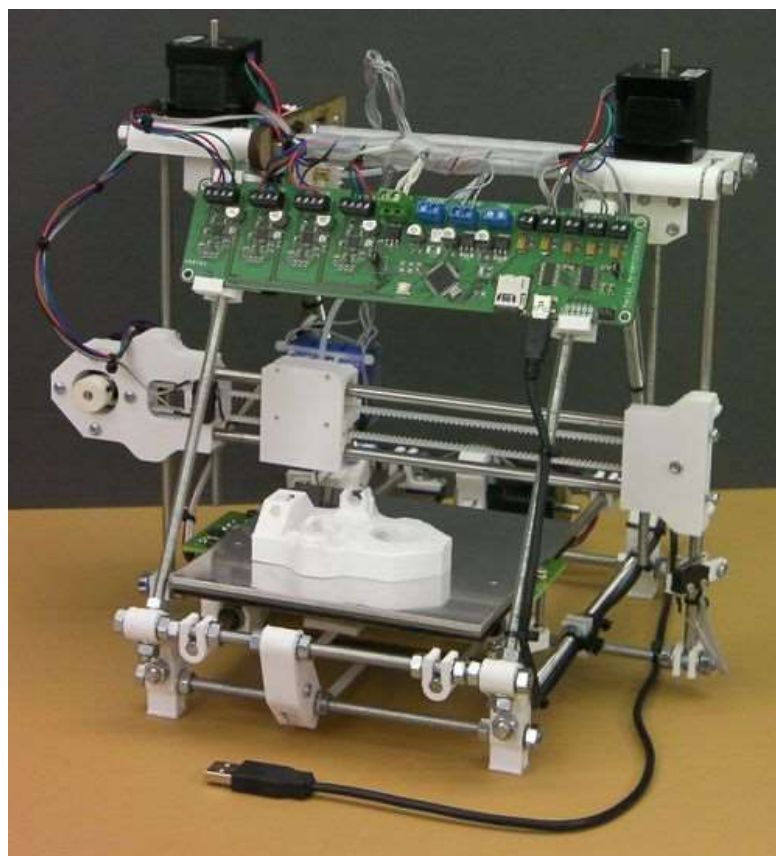


Figura 13 - RepRapPro Huxley

Fonte: REPRAP (2019)

A Figura 13 mostra uma impressora 3D modelo RepRapPro Huxley. Trata-se de uma impressora 3D que faz peças para outra impressora 3D, ou seja, é auto replicável (RAZGRIZ, 2019). Isto fez com que fossem produzidos protótipos com custos baixos (CONVEX, 2019) e o Movimento *Maker* se popularizar cada vez mais.

A criação de projetos, sendo estes *wearables* ou não, tornou-se muito mais acessível com a inserção de sistemas eletrônicos embarcados, tendo como a plataforma Arduino uma das principais utilizadas pelos *makers*. Foram criados diversos conjuntos de ferramentas para criação de protótipos, inclusive *wearables*, contendo placas eletrônicas e demais acessórios. O Capítulo 4 aborda em mais detalhes os sistemas embarcados.

4 SISTEMAS EMBARCADOS

Com o avanço da tecnologia, é cada vez mais comum ver sistemas computacionais em diversos cenários. Um sistema embarcado é um computador construído para uma aplicação específica (EQUIPE EMBARCADOS, 2018), diferente dos computadores de uso geral. Como estão limitados a tarefas específicas, geralmente não ocorrem *panes* ou sistemas travados, por não precisarem alternar programas como um computador pessoal (PC) (MONQUEIRO, 2007). Sua construção pode conter microcontroladores ou microprocessadores, lógicas combinacionais e até mesmo conectividade.

Neste trabalho focaremos em sistemas microcontrolados, ou seja, que possuem como “cérebro” um microcontrolador.

4.1 Microcontroladores

Os microcontroladores são circuitos integrados que possuem várias funcionalidades, que permitem o desenvolvimento de sistemas eletrônicos (LIMA e VILLAÇA, 2012). No *hardware* interno de um microcontrolador há um microprocessador com diversos periféricos, como memórias RAM (memória volátil) e ROM (memória não volátil), contadores, dentre outros. Cada fabricante determina as características dos microcontroladores, conforme arquitetura e núcleo.

Existem diversos fabricantes e milhares de tipos de microcontroladores. Serão listados alguns dos principais tipos, famílias e modelos conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Fabricantes e características microcontroladores¹

Fabricante	Família	Modelo	Flash	RAM	Pinos	Preço (US\$)
Atmel	AVR	ATMega328P	32 kB	2 kb	28 ou 32	1.90
Microchip	PIC16	PIC16F628A	2 kB	224 b	18	1.73
ST	STM32	STM32 F103C8T6	64 kB	20 kb	48	5.74
Texas Instruments	MSP430	MSP430G2452	8 kB	256 b	14, 16 ou 20	2.09
Espressif	ESP8266	ESP8266EX	1 MB	50 kB	32	1.60

¹ Dados e preços do distribuidor Mouser Electronics (<https://br.mouser.com/>)

Os microcontroladores tratam-se de circuitos integrados programáveis, as instruções são convertidas para linguagem de máquina através de compiladores e então gravadas na memória não-volátil do microcontrolador. Essa programação pode fazer uso de periféricos externos, como leitura de sensores, controle de LEDs ou motores, dentre outras tarefas.

Não existem melhor ou pior microcontrolador, e sim o que possui periféricos que se adequam melhor ao projeto. Cada fabricante disponibiliza *datasheets*, que são folhas contendo todos os dados e características do microcontrolador: tensão e corrente de trabalho, dimensões, circuitos dentre outros.

Uma plataforma foi desenvolvida para fins de prototipagem eletrônica, para facilitar a criação de projetos por parte de “não-eletrônicos”, chamada Arduino.

4.2 Plataforma Arduino

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica que integra *hardware* e *software*. O *hardware* refere-se à parte física, que é uma placa de circuito impresso (PCI ou PCB, sigla em inglês de *Printed Circuit Board*) contendo como “cérebro” um microcontrolador. O *software* é um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE, de *Integrated Development Environment*), onde os programas são escritos e carregados na placa de forma simples e rápida.

A origem do Arduino se deu na Itália, através de uma tese feita por Hernando Barragán no IDII (*Interaction Design Institute Ivrea*), tendo Massimo Banzi como professor (BANZI e SHILOH, 2015). A plataforma desenvolvida em 2003 por Barragán chama-se Wiring, mostrado na Figura 14, sendo esta placa a precursora do Arduino (NUSSEY, 2019).

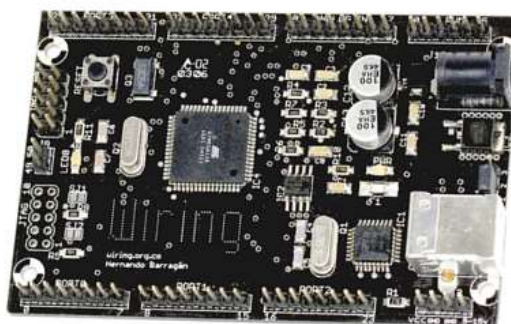


Figura 14 - Placa Wiring

Fonte: Adaptado de Nussey (2019)

A placa Wiring, ilustrada na Figura 14, teve por objetivo mostrar a Programação e a Eletrônica para pessoas que não eram da área: designers, artistas e outros (NUSSEY, 2019). O projeto Arduino veio para ensinar Computação física em uma disciplina chamada Design de Interação, no IDII, em 2005. Trouxe aos usuários uma alternativa barata para uso de microcontroladores. Segundo Nussey (2019), em 2006 um Arduino custava US\$ 32 enquanto uma placa Basic Stamp, muito famosa na época, custava em torno de US\$ 119.

O Arduino se popularizou rapidamente pela facilidade de uso, diversas possibilidades de projetos e uma comunidade mundial de usuários. A versão mais popular pode ser vista na Figura 15.

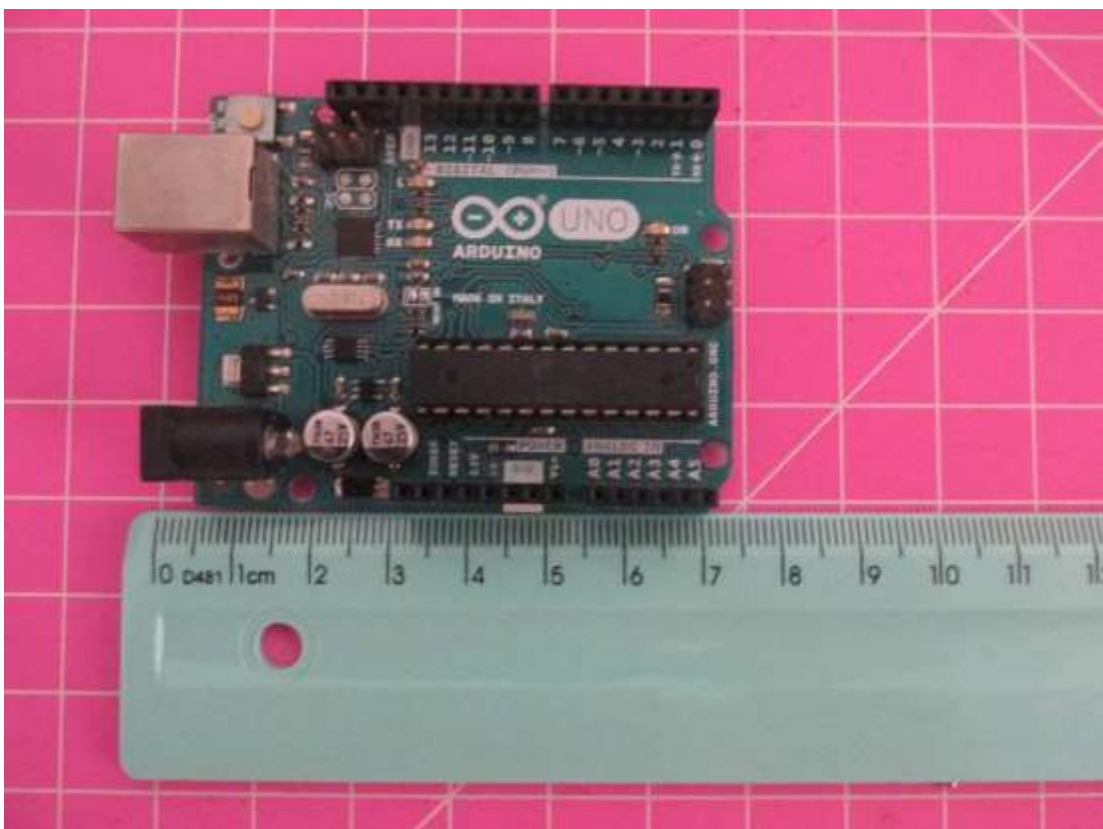


Figura 15 - Arduino Uno R3

O Arduino Uno R3, mostrado na Figura 15, é uma das versões mais usadas pelos iniciantes. Possui microcontrolador ATmega328, 14 pinos de entrada/saída digitais, 6 pinos de entrada analógica, conexão USB para carregar os programas e alimentação, além de entrada P4 para fonte externa. Sua tensão de operação é 5 V e tem pino disponível para fornecer 3,3 V. As possibilidades de projetos são imensas, desde acender um LED, movimentar motores, ler sensores e até outros mais complexos, como controle por Bluetooth e Wi-Fi. Estas

funcionalidades são dadas através do uso de placas chamadas módulos, que se integram ao Arduino através de cabos, ou *shields*, placas que se encaixam por cima de versões Uno e Mega, por exemplo.

A plataforma Arduino é denominada *Open Source*, ou seja, de código aberto (KENSHIMA, 2020). Todos os códigos e esquemas eletrônicos estão disponíveis na Internet, não é considerada pirataria replicar o projeto, desde que não seja usado o nome Arduino. As versões “clones” têm diversos nomes, inclusive brasileiros, como Severino (AKASHI, 2008), Marminino (CHAGAS, 2014) e Franzininho (SOUZA, 2017).

O ambiente de programação, chamado Arduino IDE (Figura 16), possui suporte para as mais diversas versões de placa.

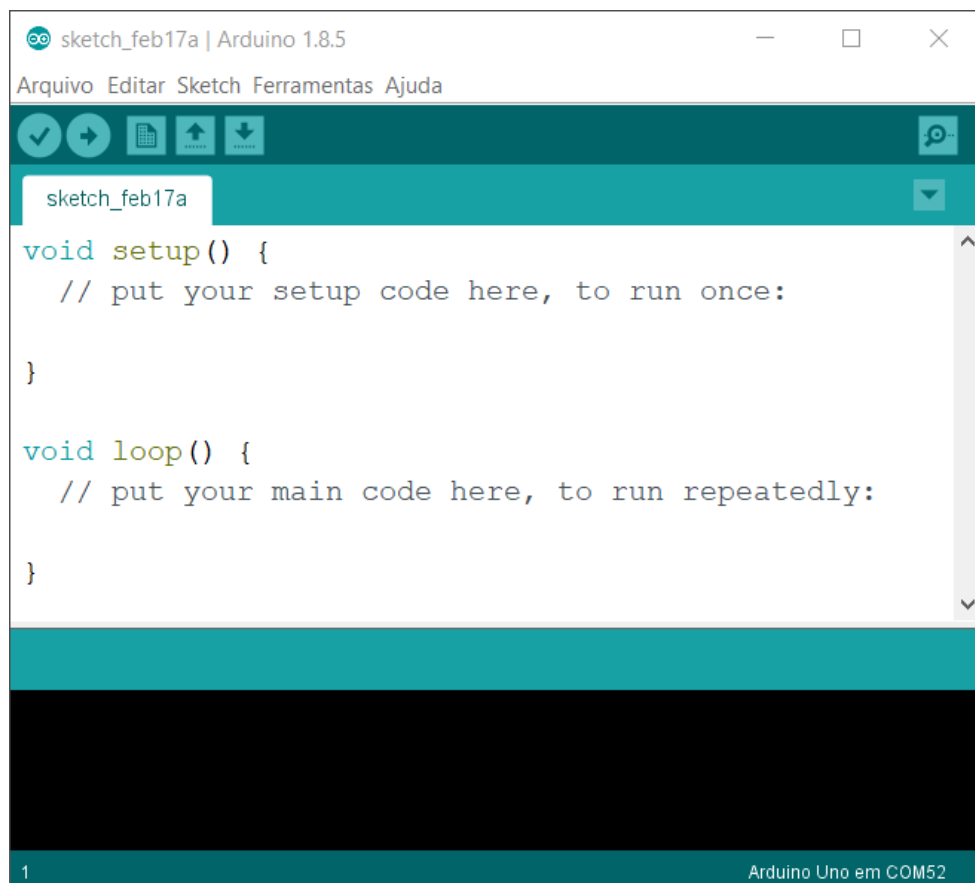


Figura 16 - Arduino IDE

O Arduino IDE, mostrada na Figura 16 possui um ambiente baseado em Processing, um projeto também *Open Source*, para pessoas não programadores pudessem gerar gráficos e visualizações na tela (NUSSEY, 2019). Voltado para uso do Arduino, o IDE possui programação baseada em Linguagem C/C++, chamada Linguagem Wiring, mesmo nome da

plataforma de Barragán. Além de diversos exemplos prontos contidos na IDE, possui suporte para instalação de bibliotecas e outras placas baseadas no Arduino.

Apesar de todas as facilidades e funcionalidades do Arduino, ele não possui conectividade de forma nativa, ou seja, deve-se usar periféricos para este fim. Um microcontrolador ganhou proporções mundiais ao fornecer esta funcionalidade e foram produzidas diversas placas com programação baseada em Arduino e outras linguagens. Na seção 4.3 será abordado este microcontrolador, o ESP-8266.

4.3 ESP-8266

O microcontrolador ESP-8266 foi desenvolvido pela empresa chinesa Espressif. Exemplares deste microcontrolador podem ser vistos na Figura 17.



Figura 17 - Microcontrolador ESP8266

Fonte: Bauermeister (2018)

Conforme a Figura 17, o ESP-8266 trata-se de um circuito integrado. Este microcontrolador possui arquitetura 32 bits, em contrapartida do ATmega328 com 8 bits do Arduino Uno. Utiliza-se o ESP-8266 devido a funcionalidades agregadas de interface WiFi, não presentes em outros modelos comuns de microcontroladores.

Para facilitar os projetos, fabricantes desenvolveram módulos e placas com diversas variações (BAUERMEISTER, 2018). O primeiro módulo desenvolvido é chamado de ESP-01, visto na Figura 18.

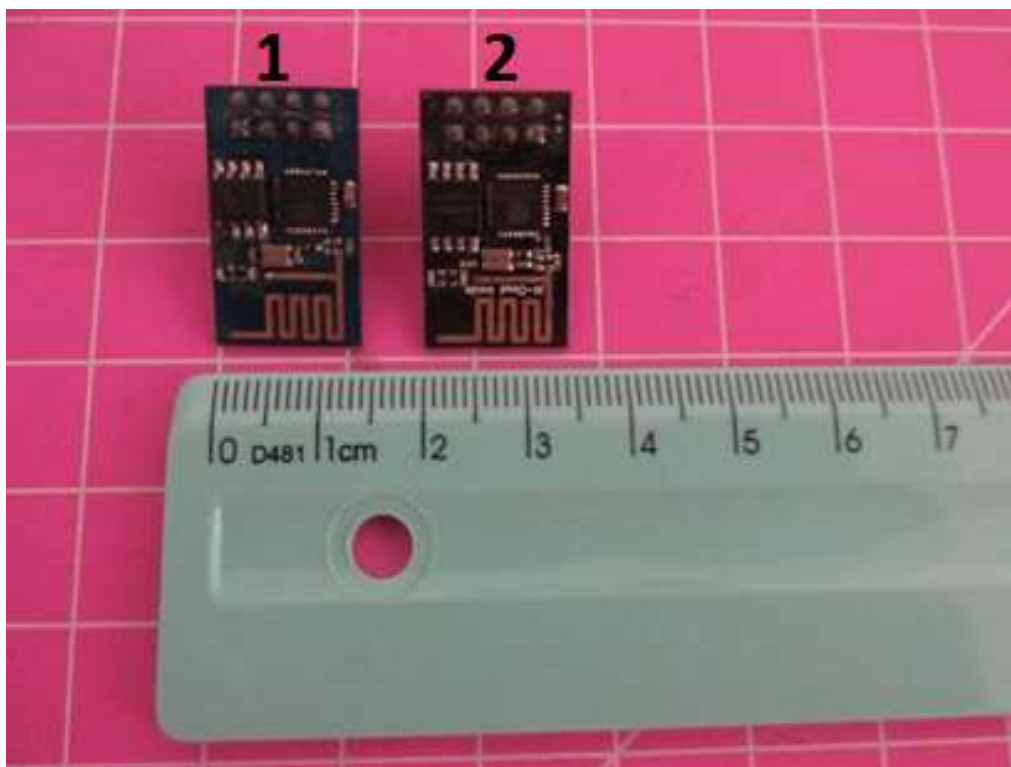


Figura 18 - Módulos ESP-01

Os módulos apresentados na Figura 18 mostram o quão pequeno são suas dimensões. Cada um possui oito pinos. A versão à esquerda (1) possui 512 kB de memória Flash externa e a versão à direita 2) é mais recente e possui 1 MB. A versão ESP-01 foi inicialmente usada como módulo Wi-Fi do Arduino, mas com o tempo descobriu-se que se trata de módulo com duas entradas/saídas disponíveis para uso.

Porém, apresenta algumas desvantagens, como tensão de operação de 3,3 V contra os 5 V usados no Arduino. Os módulos poderiam ser facilmente queimados ao usar uma tensão de 5 V no lugar de 3,3 V.

Foram desenvolvidas outras versões do módulo, seguidos de número de versão (ESP-02, ESP-03 etc). Além disso, várias empresas desenvolveram plataformas baseadas principalmente na versão ESP-12, sendo a mais conhecida a NodeMCU, ilustrado na Figura 17.

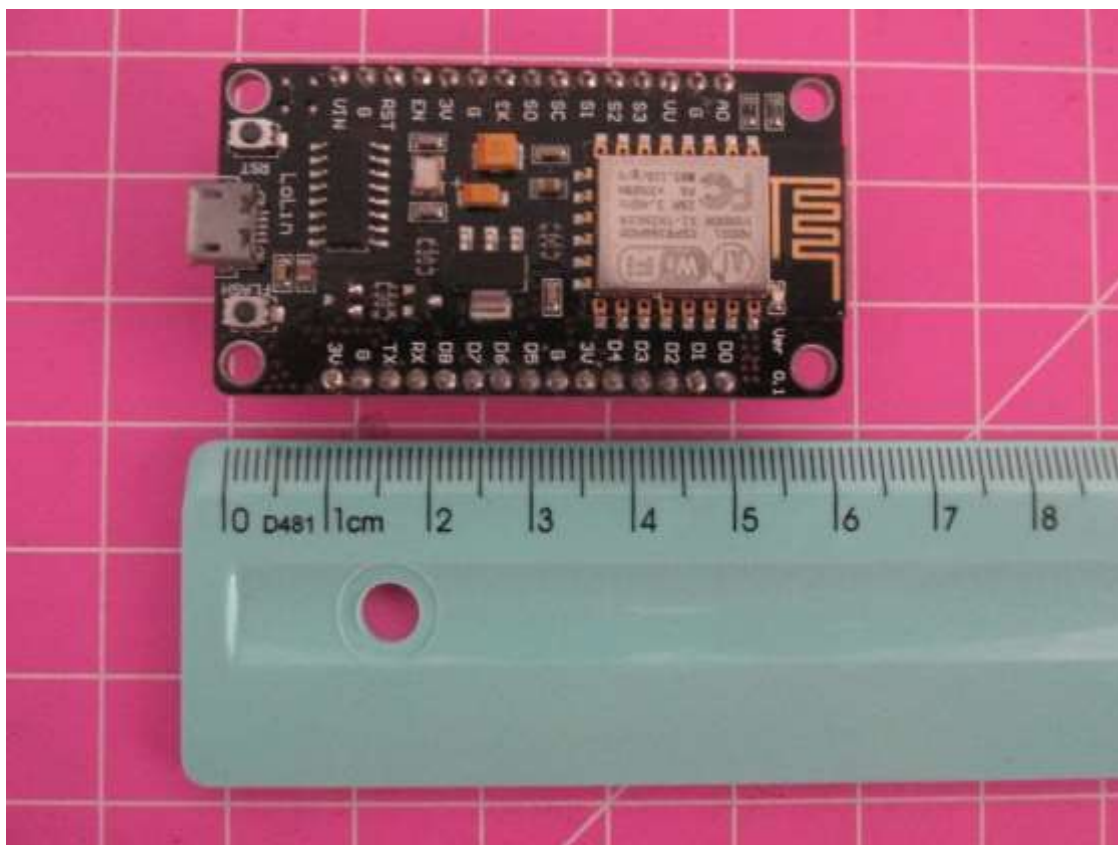


Figura 19 - Plataforma NodeMCU

A placa NodeMCU, conforme mostrada na Figura 19, possui entrada micro-USB, 10 pinos de entrada/saída, um pino de entrada analógica, regulador de tensão e suporte a protocolos de comunicação (I2C, SPI etc). Segundo Stevan Jr (2018), possui vantagens sobre o Arduino, como consumo de energia, menor tamanho e suporte Wi-Fi. Pode ser programável pelo Arduino IDE.

Para atender o presente trabalho foi proposto o uso da placa X-8266 com microcontrolador ESP-WROOM-02, uma versão do ESP8266, conforme Figura 20.

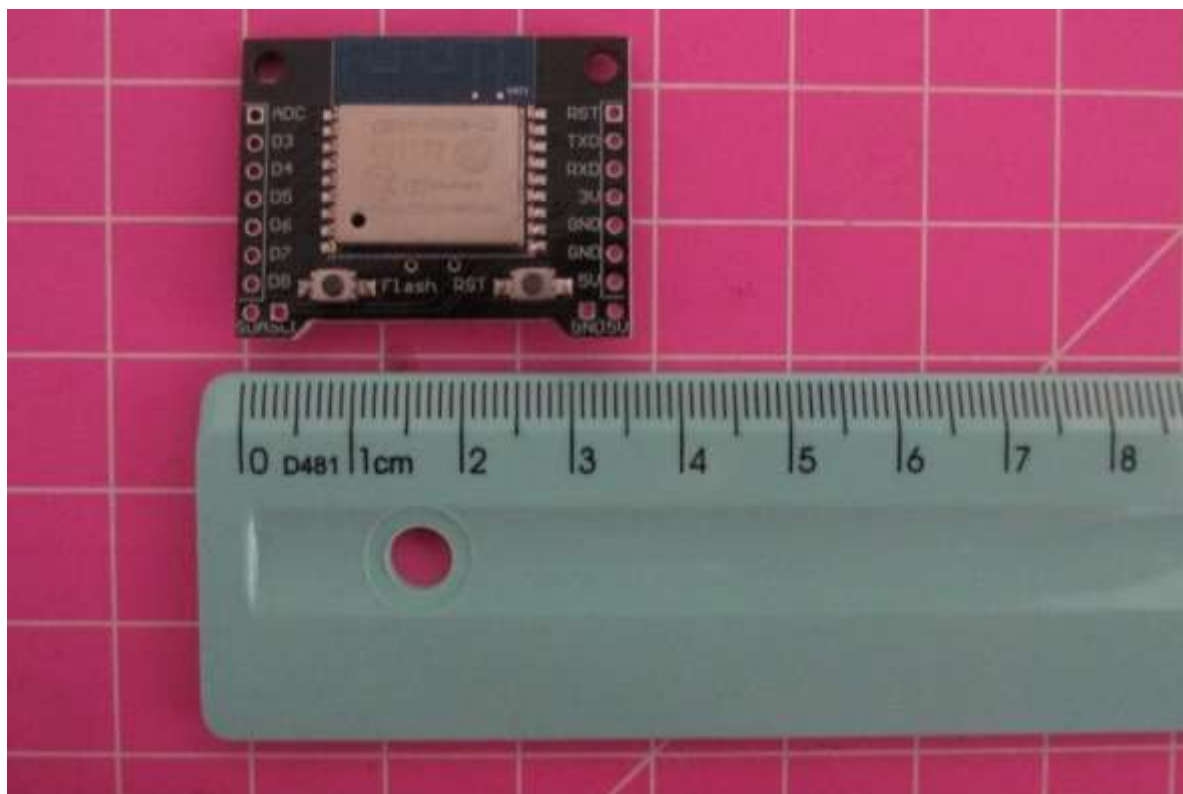


Figura 20 - Placa X-8266

Na Figura 20 é possível visualizar que se trata de uma plataforma menor que o NodeMCU, com conexão WiFi, micro USB e diversos pinos de entrada e saída.

A escolha desta plataforma neste trabalho deve-se inicialmente à possibilidade de ser utilizada nos dispositivos *wearables* propostos pelo tamanho e funcionalidades, destacando o uso de Wi-Fi. Também possui a vantagem de operar em 5 V e não em 3,3 V, portanto os módulos para Arduino são compatíveis sem uso de conversores de tensão. No Capítulo 5 serão abordados tópicos relativos à conectividade, usados nos ESP-8266.

5 CONECTIVIDADE

Atualmente, cada vez mais é utilizada a conectividade para execução de diversas tarefas, seja acessar *e-mails*, jogos *online* e até mesmo transações bancárias. Serão abordados neste Capítulo os principais tópicos relacionados a conectividade e suas estruturas, iniciando pelos conceitos básicos de Internet das Coisas.

5.1 Internet das Coisas

O termo vem do inglês *Internet of Things* ou sua abreviação IoT. Refere-se à dispositivos conectados à rede através de endereços IP (STEVAN JR, 2018). Estes dispositivos podem ser computadores, smartphones, tablets, TVs, carros e até mesmo eletrodomésticos, ou seja, qualquer “coisa” pode ser conectada a uma rede.

Esta “coisa” pode ser uma câmera que pode monitorar uma residência em tempo real e o proprietário pode visualizar de qualquer lugar do mundo. Também pode ser um pequeno sistema de medição de temperatura que envia os valores medidos para o Twitter. Os objetos fazem parte de uma rede menor, composta de sensores, atuadores, controladores e afins, que se conectam a redes maiores. Este é o caso de muitos dispositivos *wearables*, vistos no Capítulo 3.

Segundo dados da Cisco IBSG (*Internet Business Solutions Group*), estima-se que a Internet das Coisas nasceu entre 2008 e 2009, quando o número de dispositivos conectados ultrapassou a população mundial. Em 2010 eram 1,84 dispositivos conectados por pessoa e estima-se que em 2020 sejam 6,58 dispositivos por pessoa, sendo 50 bilhões de dispositivos com uma população mundial de 7,6 bilhões de pessoas (CISCO IBSG, 2011). Já a empresa Gartner (2019) estima que em 2020 sejam 5,81 dispositivos por pessoa, contra 3,69 em 2018 e 4,81 em 2019.

Algumas das áreas de aplicação de IoT são diversas, desde casas inteligentes, industrial, agrícola, comércio, logística e saúde, que é a área de interesse deste trabalho.

A popularidade do Movimento Maker e as plataformas com ESP-8266 fizeram com que os *makers* desenvolvessem seus próprios dispositivos em casa, usando suas redes locais sem fio. A seguir, serão tratadas as características das redes Wi-Fi.

5.2 Redes sem fio Wi-Fi

As redes sem fio estão em locais como aeroportos, shoppings, instituições de ensino e empresas. Assim, é possível a conexão de dispositivos móveis. Seu padrão é chamado LAN (*Local Area Network*) sem fio 802.11, conhecida popularmente como Wi-Fi.

Um dos modos de operação é o cliente conectando-se por um ponto de acesso, chamado **AP** (*Access Point* ou Ponto de Acesso). Este AP está conectado a outros pontos de acesso formando um sistema de distribuição (TANENBAUM e WETHERALL, 2011). Também há a **rede ad hoc**, onde os dispositivos estão conectados entre si sem ponto de acesso. O enfoque deste trabalho será nas redes com AP, chamadas de LANs sem fio com infraestrutura.

Cada AP possui um SSID (*Service Set Identifier* ou Identificador de Conjunto de Serviços). Quando verificamos as redes disponíveis em um computador ou celular, é mostrada uma lista dos SSID de todos os AP (KUROSE e ROSS, 2013). Existem três padrões e cada um deles opera em uma faixa de frequência:

1. 802.11b com frequência 2,4 a 2,485 GHz e até 11 Mbits/s de taxa de dados
2. 802.11a com frequência 5,1 a 5,8 GHz e até 54 Mbits/s de taxa de dados
3. 802.11g com frequência 2,4 a 2,485 GHz e até 54 Mbits/s de taxa de dados

A frequência 2,485 GHz é distribuída em 11 canais, onde os dispositivos clientes conectam-se aos APs. No Brasil e Europa são permitidos mais dois canais (12 e 13), porém o padrão adotado nos Estados Unidos permite apenas 11 canais (OLIVEIRA, 2017). Estes canais se sobrepõem em parte e para não haver interferência, deve-se ter uma diferença de quatro canais (KUROSE e ROSS, 2013). Por isso, os canais 1, 6 e 11 são os mais utilizados em equipamentos.

Já a frequência 5,8 GHz possui 23 canais que não se sobrepõem, mas necessitam de equipamentos de custo maior (OLIVEIRA, 2017). Os dispositivos IoT trabalham geralmente na faixa de frequência 2,485 GHz.

Cada dispositivo conectado possui um endereço na internet, chamado IP, tratado na seção 5.3.

5.3 IP

O IP, do inglês *Internet Protocol* ou Protocolo de Internet, é quem endereça e encaminha pacotes de dados que trafegam pela rede (PISA, 2012). Cada dispositivo conectado a uma rede

possui um endereço. Quando se trata de um dispositivo que está na internet, possui um endereço local e um externo.

Há dois tipos de protocolos: IPv4 (versão 4) e IPv6 (versão 6). Inicialmente será usada a versão 4.

O IPv4 possui 32 bits em cada endereço, sendo parte cabeçalho e parte dados. O máximo suportado por esta versão é de quatro bilhões de dispositivos, ou seja, não suficientes para o contexto IoT (OLIVEIRA, 2017).

O endereçamento se dá por notação decimal, com separação por pontos (KUROSE e ROSS, 2013). Esses números variam de 0 a 255 por tratar-se de endereços com 8 bits ($2^8 = 256$). Segue um exemplo:

Ex: 192.168.216.5

Onde:

192: primeiros 8 bits do endereço (1100 0000 em binário)

168: segundo conjunto 8 bits do endereço (1010 1000 em binário)

216: terceiro conjunto 8 bits do endereço (1101 1000 em binário)

5: último conjunto 8 bits do endereço (0000 0101 em binário)

Devido ao esgotamento de endereços IPv4, ocorre a migração para o IPv6. Este formato possui 128 bits em cada endereço, ou seja, possui menos possibilidades de se esgotar a longo prazo. Tratando-se de dispositivos IoT mais simples, como o NodeMCU e afins, ainda não migraram para esta versão.

A relação entre dispositivos será tratada na seção 5.4, onde serão abordados os elementos servidor e cliente, bases da comunicação na internet.

5.4 Servidor – cliente

A comunicação cliente-servidor é um modelo utilizado na internet, onde a comunicação entre dispositivos é sempre iniciada pelo cliente (OLIVEIRA, 2017).

Na internet, o servidor é aquele que possui banco de dados que armazena as páginas Web (TANENBAUM e WETHERALL, 2011). Uma das características do servidor é que pode receber solicitações simultâneas de vários clientes, por isso deve ter um *hardware* de alto

desempenho (OLIVEIRA, 2017). Já o cliente é o que faz a requisição para acessar a rede. No caso IoT, um dispositivo pode coletar e enviar informações para envio a um servidor.

O ESP-8266 atribui de forma automática um endereço IP ao servidor, tipo xxx.xxx.xxx.1, sendo xxx sendo um conjunto de 8 bits. Cada cliente que se conecta ao servidor possui um número subsequente, com os três primeiros conjuntos de bits: xxx.xxx.xxx.2, xxx.xxx.xxx.3 etc.

O capítulo a seguir aborda os protótipos e suas características.

6 PROTÓTIPOS

O trabalho consiste em desenvolver um sistema de sensoramento de auxílio à marcha do idoso, alertando-o sobre possíveis obstáculos. Este sistema consiste em dois dispositivos:

- Um controlador central, contendo motores de vibração e um servidor;
- Um receptor de distância, contendo sensor e realizando conexões com o controlador central como cliente.

Antes de explanar sobre os dispositivos do sistema, serão abordados dois elementos utilizados: sensores de distância e motor de vibração.

6.1 Sensores de distância

Sensores de distância são muito utilizados na detecção de obstáculos em diversas aplicações. Existem diversos métodos para esta detecção. Uma forma de detecção é por infravermelho, conforme o sensor visto na Figura 21.



Figura 21 - Sensor de obstáculos infravermelho

Fonte: Saravati (2020a)

O sensor visto na Figura 21 é o sensor de obstáculos infravermelho E-18-D80NK. Trata-se de um sensor óptico que possui emissor e receptor infravermelho (IR). O emissor fará a

emissão de um sinal infravermelho, que ao atingir uma superfície, fará com que este sinal seja refletido e detectado pelo receptor. A distância medida varia de 3 até 80 cm (SARAVATI, 2020a). Como a distância utilizada para o projeto é de 1 m, além da sua dimensão para uso industrial, o uso deste sensor neste trabalho foi descartado.

Um dos modelos mais comuns utilizados em prototipagem são por ultrassom, conforme a Figura 22.

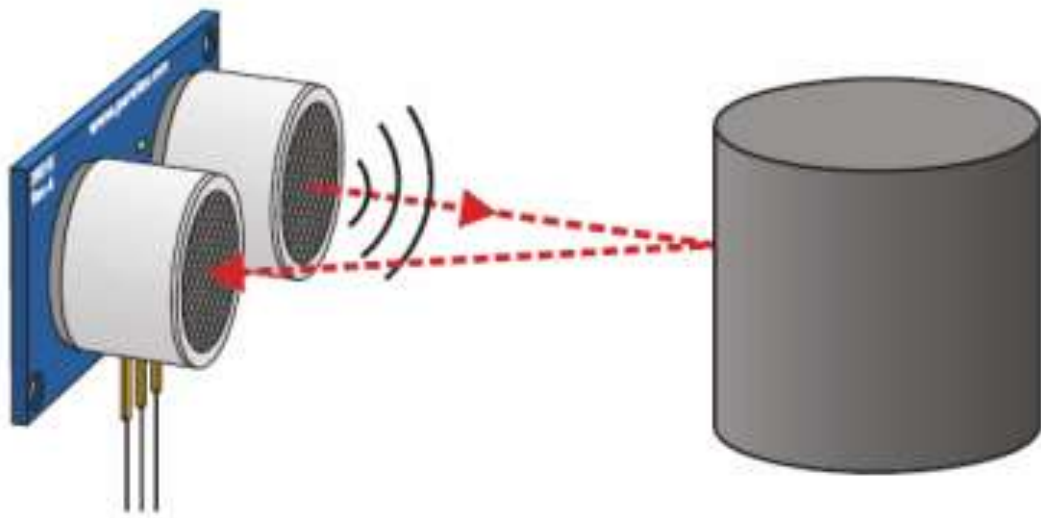


Figura 22 - Sensor ultrassônico

Fonte: Mota (2017)

O modelo representado na Figura 22 é o HC-SR04. Este tipo de sensor emite pulsos de ultrassom e, quando estes pulsos atingem um objeto, são refletidos e voltam para o sensor (MOTA, 2017). O tempo entre a emissão e a recepção dos pulsos faz com que seja calculada a distância. A distância máxima medida é de até 4 m. Possui uma angulação de $\pm 15^\circ$ para detecção dos objetos (OLIVEIRA, 2019).

Mais uma forma de detectar obstáculos é por *laser*, método usado no sensor visto na Figura 23.



Figura 23 - Sensor VL53L0X V2

Na Figura 23 é visualizado o sensor de distância *laser* VL53L0X V2 com pinos soldados. De forma semelhante aos sensores citados, este faz emissão de raio laser infravermelho (não visível ao olho nu), sendo este refletido e realizando a medição com maior exatidão. Realiza medições recomendadas de 30 a 1000 mm, tendo como medição absoluta de 2 m (SARAVATI, 2020b).

A partir dos sinais de aproximação à um obstáculo, os dispositivos clientes realizam a comunicação com o servidor. O servidor envia sinais para os motores de vibração, que dependendo de qual cliente veio o sinal e a distância detectada, faz com que haja maiores ou menores vibrações de alerta. O motor de vibração é tratado no tópico a seguir.

6.2 Motor de vibração

Os motores de vibração são utilizados para emissão de alertas não visuais ou audíveis, como LEDs e *buzzers*. Algumas aplicações são em celulares, *joysticks*, vibradores e carrinhos (TECNOTRONICS, 2020).

Os dois tipos mais comuns dividem-se em: com ou sem pêndulo de vibração. Um modelo disponível usando pêndulo encontra-se na Figura 24.



Figura 24 - Motor vibracall

Fonte: Pololu (2020)

Na Figura 24 é possível visualizar um modelo de motor *vibracall* que em sua ponta possui uma massa deslocada em formato de meia lua que vibra quando gira. São encontrados em celulares e dispositivos que possuem *feedback* tátil através de vibração (POLOLU, 2020). Suas dimensões são de 12,5 x 5 mm e trabalha com tensão de 1,5 a 3 V, com corrente de trabalho de até 85 mA com alimentação 3V.

Uma versão de motor de vibração sem massa deslocada pode ser vista na Figura 25.



Figura 25 - Motor de vibração 1027

Fonte: Baolong Electronic (2020)

Na Figura 25 é visto o motor de vibração 1027, que também é usado em celulares. Porém, possui formato achatado e circular, com dimensões de 10 mm de diâmetro e $\pm 2,7$ mm de espessura. Trabalha com tensão de 2,5 a 3,5 V e corrente de trabalho de até 85 mA (BAOLONG ELECTRONIC, 2020). Devido ao formato achatado sem sobressalência como o

visto na Figura 24, este motor 1027 foi escolhido, por tratar-se de um dispositivo *wearable*, focando no conforto do usuário.

Os protótipos desenvolvidos para este trabalho são tratados a seguir.

6.3 Protótipos cliente

Neste trabalho, o cliente é um dispositivo que coleta informações de distância de um obstáculo e envia para um dispositivo com servidor local. O servidor possui um atuador, que fará alerta ao usuário sobre a distância medida. Ambos dispositivos realizam comunicação sem fio via Wi-Fi.

O primeiro protótipo cliente consistiu em uma pochete onde foi montado o circuito, ou seja, o que faz requisição da conexão com o servidor e tem um sensor ultrassônico para medir distâncias de possíveis obstáculos, conforme visto na Figura 26.



Figura 26 - Protótipo cliente 1

Na Figura 26 temos o sensor ultrassônico e uma chave liga/desliga à mostra. A parte inferior possui entrada micro USB para carregar a bateria. Na parte interna, o circuito visto na Figura 27.

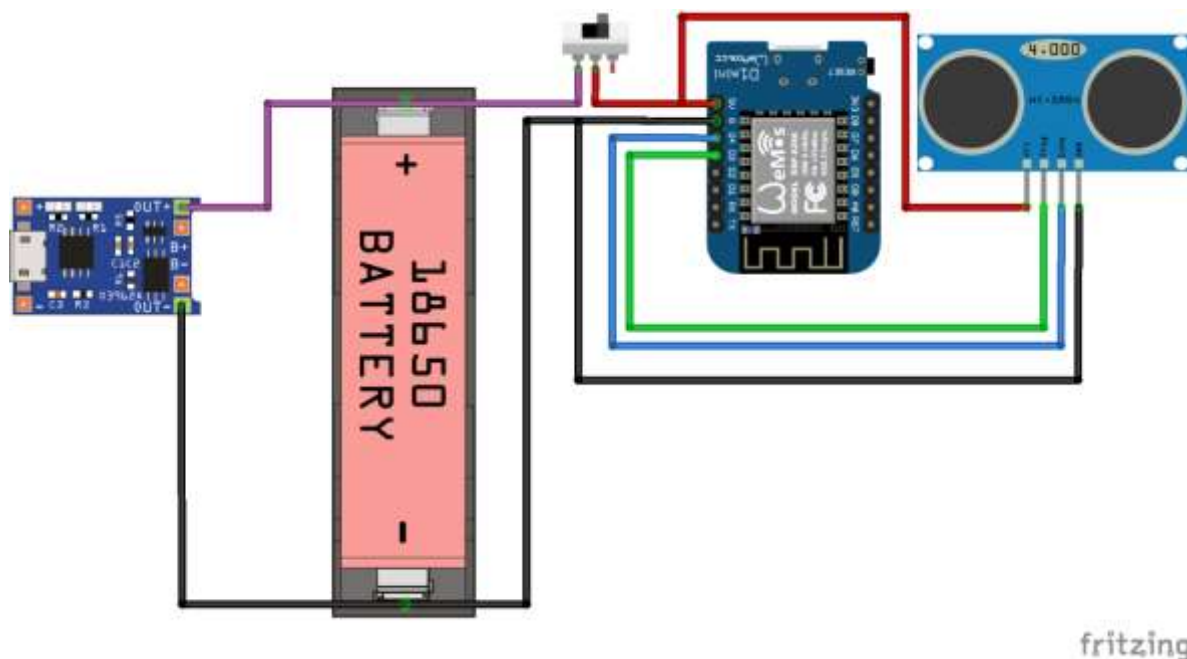


Figura 27 - Circuito cliente 1

Todos os circuitos apresentados neste trabalho foram confeccionados no *software* de código aberto Fritzing. A Figura 27 mostra o circuito do cliente 1, que é composto de carregador de bateria TP4050, uma bateria de lítio 18650 de 2200 mAh (mili Ampere hora), uma chave liga/desliga, a plataforma com microcontrolador ESP8266 e o sensor ultrassônico. A versão da plataforma microcontrolada usada nos esquemáticos Fritzing é a Wemos D1 mini, de tamanho e funcionalidades similares ao X-8266.

Um segundo protótipo foi desenvolvido usando outro sensor de distância, conforme Figura 28 e 29.

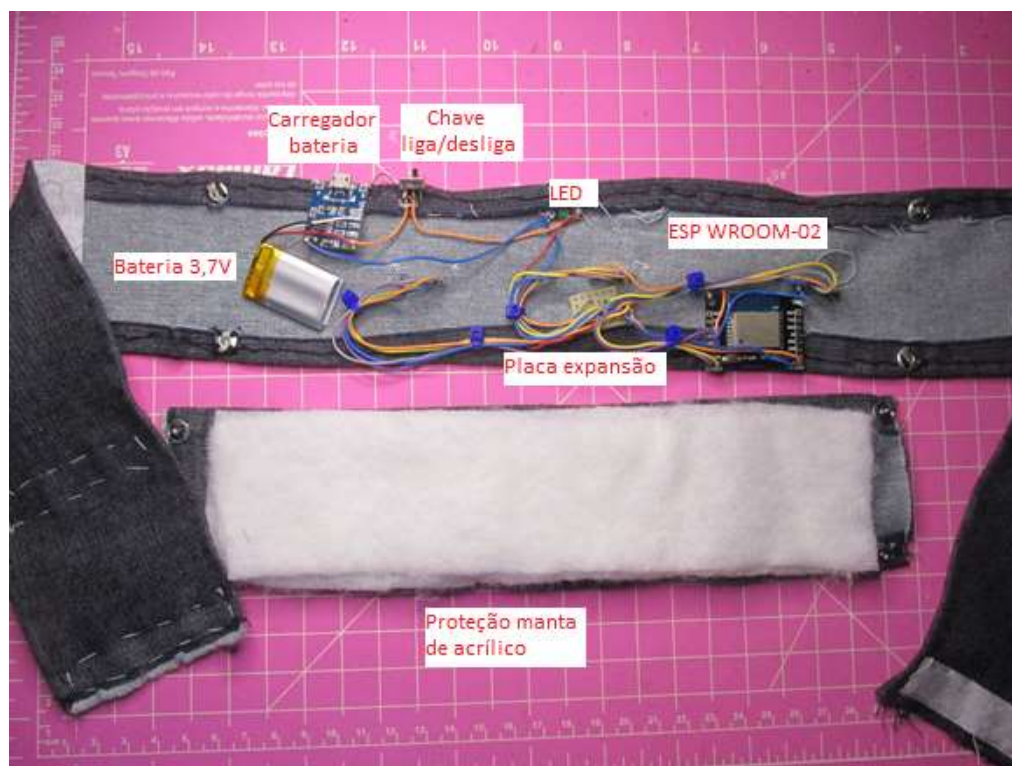


Figura 28 - Protótipo cliente 2 interno



Figura 29 - Protótipo cliente 2 externo

O protótipo cliente 2, conforme as Figuras 28 e 29, consiste em uma cinta feita de material com elastano para ser presa à coxa, costurada à mão. Para ajuste, foram inseridas tiras de velcro para diâmetros diferentes de usuários. Em sua parte interna, conforme ilustrado na Figura 28 foi montado o circuito e devido aos pinos dos sensores, foi confeccionada uma proteção com manta de acrílico para não perfurar o usuário.

Na Figura 29 é possível visualizar três sensores de distância *laser* VL53L0X V2, que fazem a detecção de obstáculos por três pontos distintos. O circuito desenvolvido para o protótipo servidor 2 pode ser visto na Figura 30.

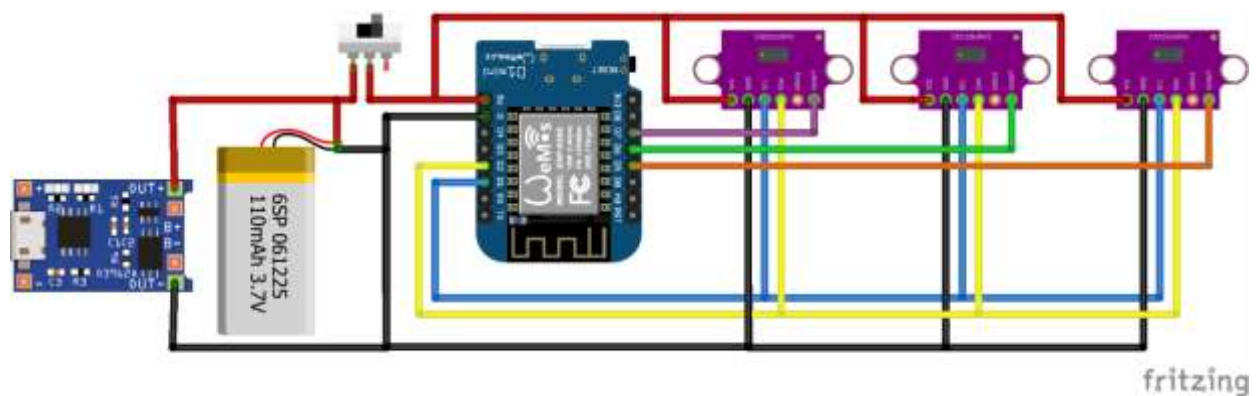


Figura 30 - Circuito cliente 2

O circuito completo, visto na Figura 30, é composto de carregador de bateria TP4050, uma bateria de lítio de 200 mAh, uma chave liga/desliga, a plataforma X-8266 e três sensores de distância *laser*.

6.4 Protótipo servidor

Já o servidor foi confeccionado sobre um bracelete feito de tecido e costurado à mão. A parte interna pode ser vista na Figura 31.

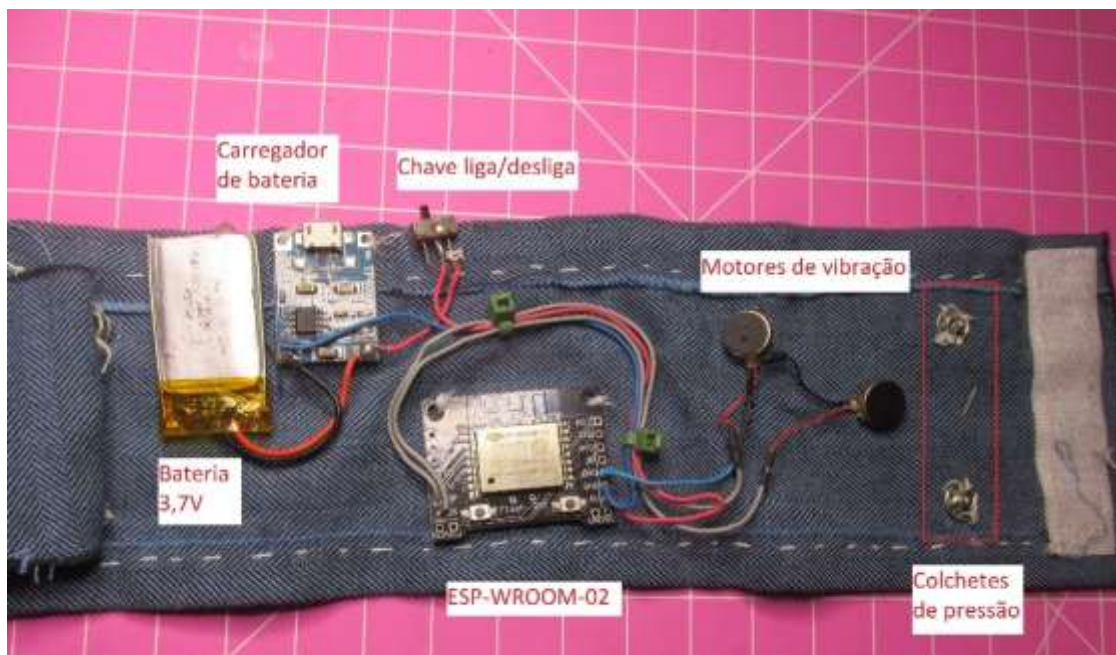


Figura 31 - Protótipo servidor

Todo o circuito está entre duas partes de tecido, fechado com colchetes de pressão, ilustrado na Figura 31. O esquemático de montagem pode ser visto na Figura 32.

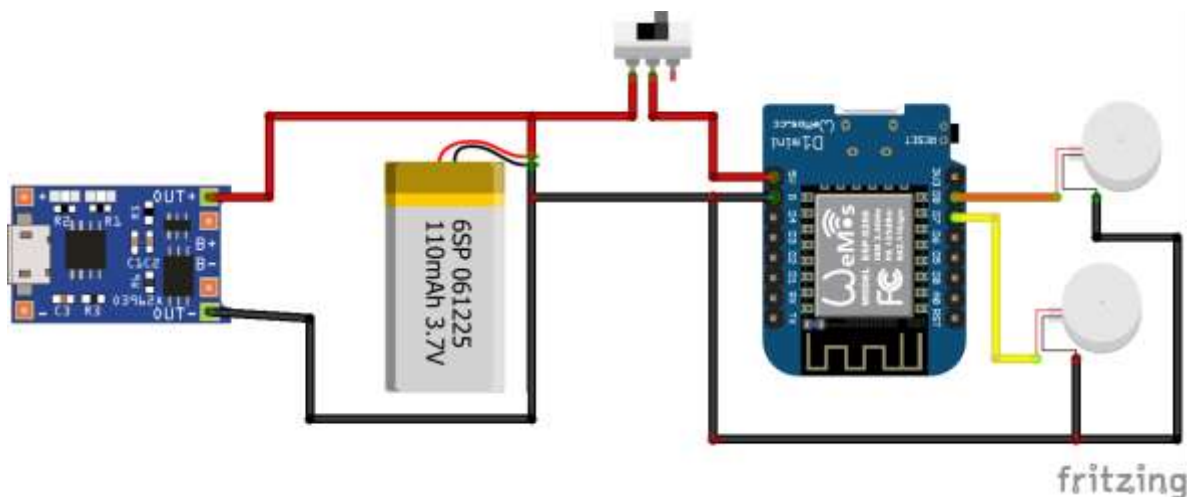


Figura 32 - Circuito servidor

O circuito completo, visto na Figura 32, é composto de carregador de bateria TP4050, uma bateria de lítio de 200 mAh, uma chave liga/desliga, a plataforma X-8266 e dois motores de vibração 1027. Todos os módulos e circuitos dos protótipos foram testados e seus resultados são abordados capítulo a seguir.

7 TESTES E RESULTADOS

Os protótipos foram desenvolvidos com base em testes com as placas com microcontroladores e sensores. Cada teste realizado, bem como os resultados do uso dos protótipos serão abordados neste capítulo.

7.1 Testes de conectividade

Todos os testes realizados com os ESP-8266 utilizam como ambiente de programação a IDE Arduino, que tem como base a linguagem Wiring, baseada em linguagem C/C++.

O primeiro teste consistiu no uso do ESP-8266 como cliente, usando o programa de exemplo *WiFiClient.ino* (disponível na IDE Arduino após instalação de bibliotecas), realizando a conexão com um roteador WiFi. Utilizando o SSID (nome da rede do roteador) e senha é feita a tentativa de conexão, mostrando na tela do Monitor Serial do IDE Arduino o *status* desta tentativa, conforme Figura 33.

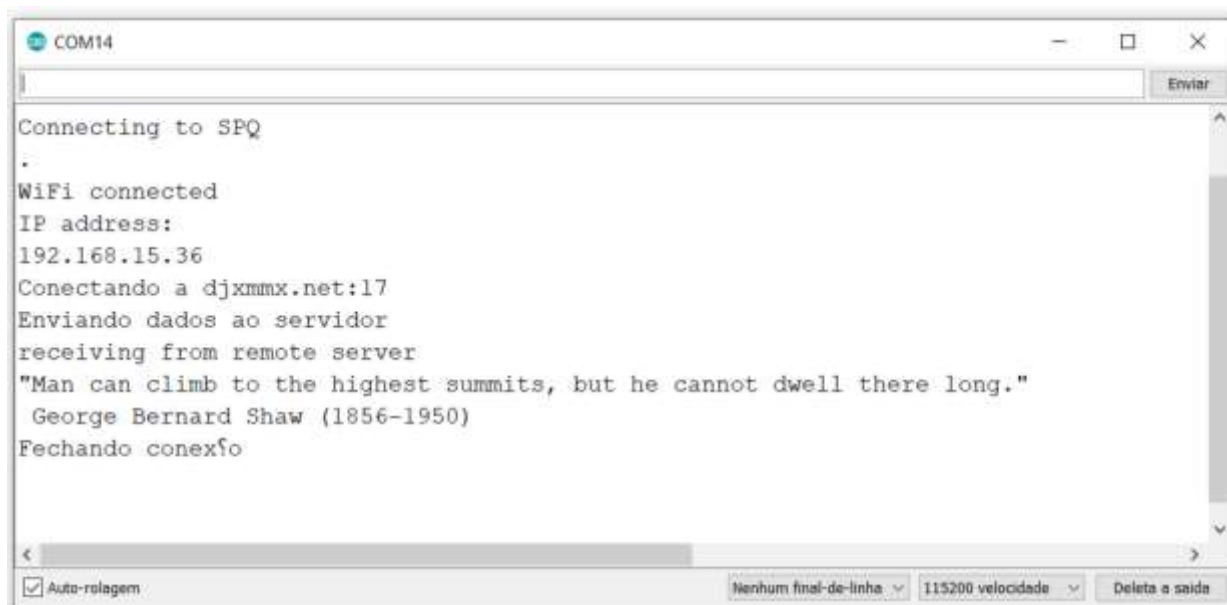
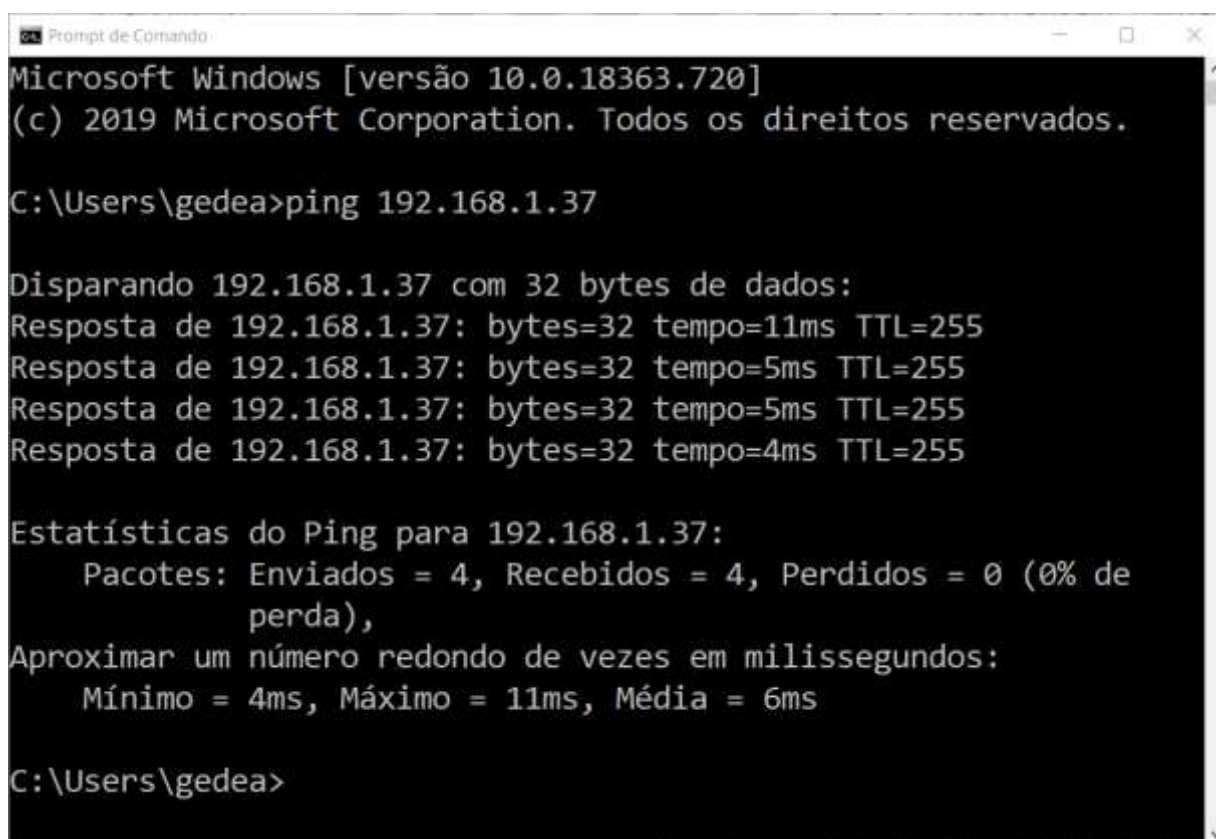


Figura 33 - Monitor Serial cliente

Caso a conexão seja bem-sucedida, mostra no Monitor Serial as mensagens de conexão e o número IP gerado do dispositivo, ilustrado na Figura 33, que se trata de uma identificação única de cada dispositivo logado na rede. Se não realizar a conexão, são mostradas mensagens

de falha na conexão. Também é possível realizar “ping²” no *Prompt de Comando*, que se trata do disparo de 32 bytes para o endereço IP e a verificação do tempo de resposta, conforme ilustrado na Figura 34.



```
Microsoft Windows [versão 10.0.18363.720]
(c) 2019 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\gedea>ping 192.168.1.37

Disparando 192.168.1.37 com 32 bytes de dados:
Resposta de 192.168.1.37: bytes=32 tempo=11ms TTL=255
Resposta de 192.168.1.37: bytes=32 tempo=5ms TTL=255
Resposta de 192.168.1.37: bytes=32 tempo=5ms TTL=255
Resposta de 192.168.1.37: bytes=32 tempo=4ms TTL=255

Estatísticas do Ping para 192.168.1.37:
    Pacotes: Enviados = 4, Recebidos = 4, Perdidos = 0 (0% de
        perda),
Aproximar um número redondo de vezes em milissegundos:
    Mínimo = 4ms, Máximo = 11ms, Média = 6ms

C:\Users\gedea>
```

Figura 34 - Prompt comando cliente

Após isto, o segundo teste consistiu na programação do mesmo ESP-8266 como servidor *Access point* (AP), que consiste em gerar um ponto de acesso de rede, para que dispositivos sejam conectados a ele. Este AP possui um número IP, que nos exemplos apresentados do ESP-8266 é 192.168.4.1. Este número é mostrado no Monitor Serial, conforme Figura 35.

² Ping: Sigla *Packet Internet Network Grouper* ou Procurador de Pacotes da Internet. É um comando de teste de conectividade entre equipamentos. Consiste no envio de dados e aguardo da resposta. Caso haja resposta, o equipamento está ativo e conectado (BRITO, 2012).



Figura 35 - Monitor serial AP

A partir disto, o computador usado nos testes foi conectado ao AP gerado e através no Prompt de comando também foi realizado o teste do “ping”, visto na Figura 36.

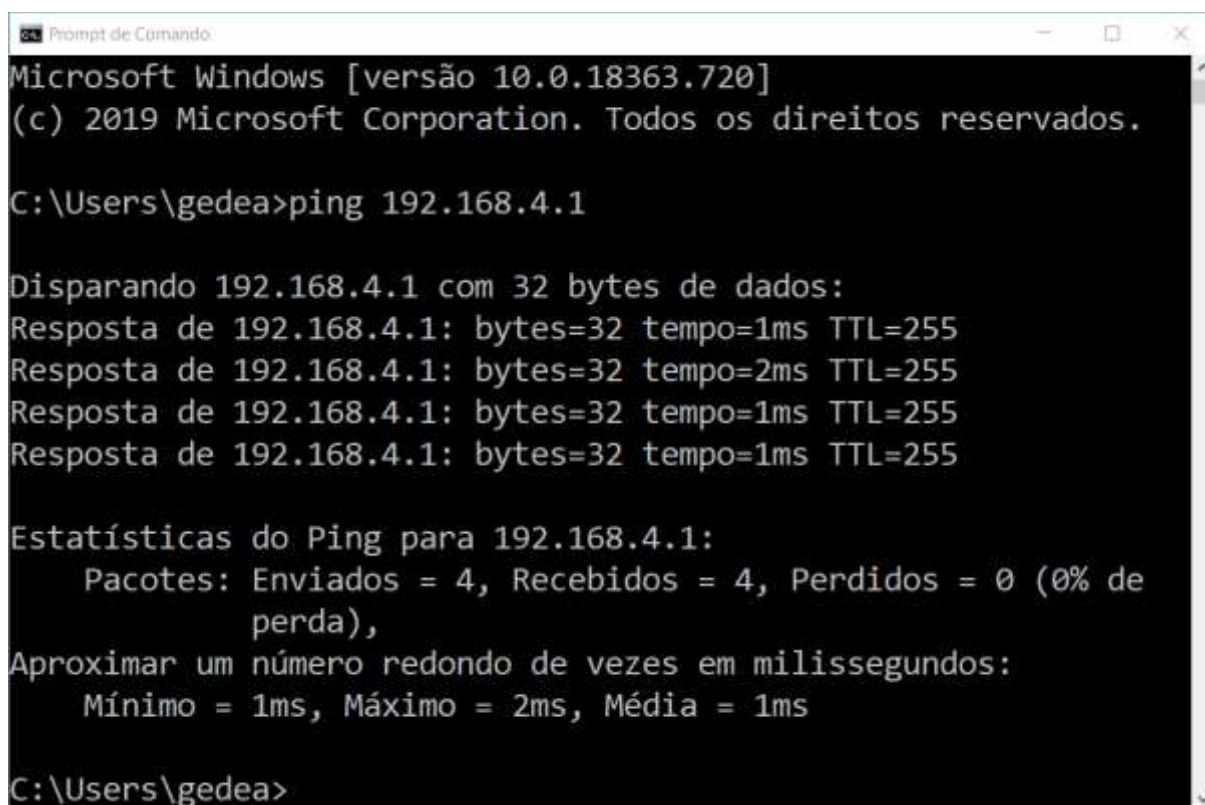


Figura 36 - Prompt de comando AP

Neste experimento, é possível verificar a rapidez da rede gerada, com tempo de resposta de 1 ms e 2 ms, como indicado na Figura 36.

7.2 Testes com sensores

O primeiro sensor utilizado foi o ultrassônico HC-SR04. Foram realizados testes de distância utilizando um ESP-WROOM-02, conforme Figura 37.

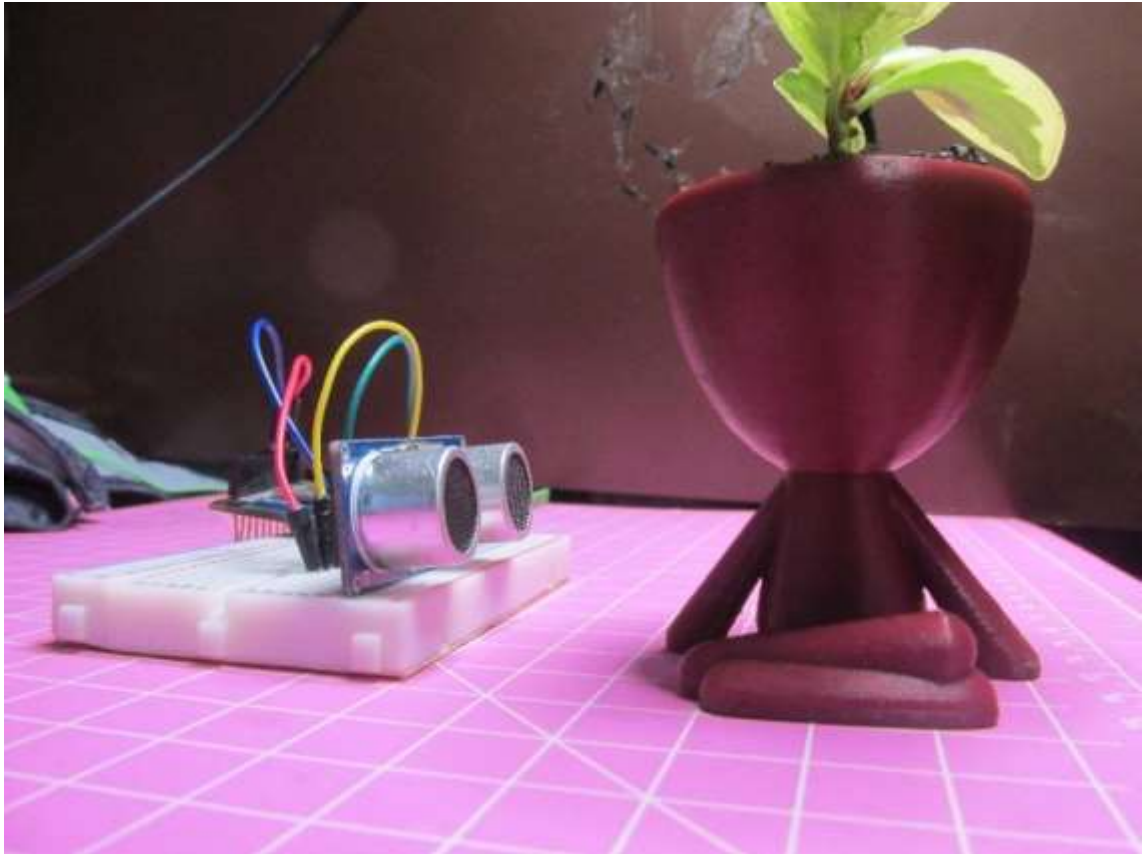


Figura 37 - Montagem com sensor HC-SR04

A Figura 37 mostra as conexões realizadas experimentalmente em *proto-board*, o sensor envia as medições e estas são mostradas no Monitor Serial. O código foi baseado no exemplo do site Naylamp (2017). Os valores medidos podem ser vistos na Figura 38.

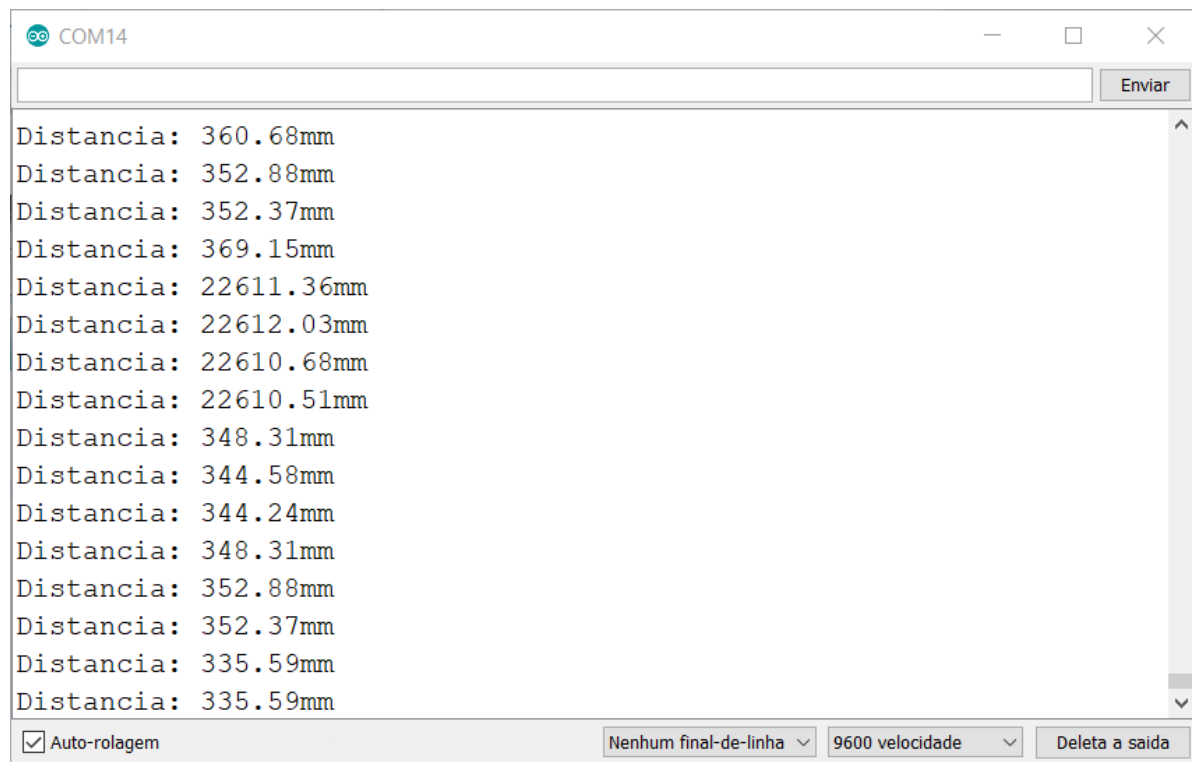


Figura 38 - Tela Monitor Serial sensor ultrassônico

Este sensor realiza o cálculo da distância em centímetros e tais valores foram convertidos para milímetros, como os valores apresentados na Figura 38. Como funciona com pulsos de ultrassom, possui um ângulo de $\pm 15^\circ$ (tópico 6.2). Portanto, ao mover-se poucos milímetros do obstáculo para esquerda ou direita, o sensor ainda realiza a detecção.

O outro sensor experimentado foi o VL53LXX V2, sensor de distância *laser*. O ensaio realizado com a mesma placa microcontrolada, conforme Figura 39.

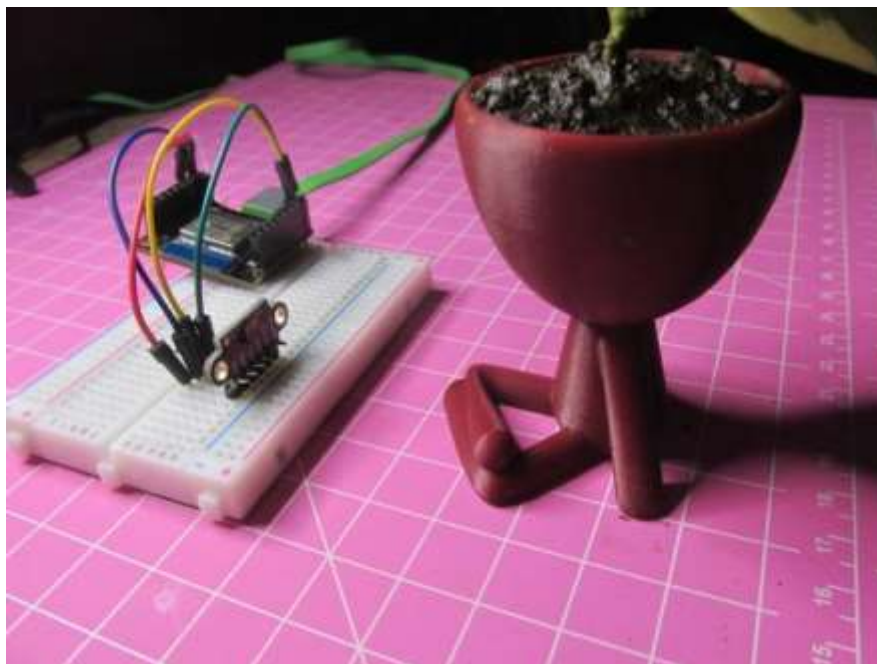


Figura 39 - Montagem com sensor VL53LXX V2

Na Figura 39 é mostrada a montagem do circuito em protoboard. Este sensor funciona através de comunicação I2C e uso de biblioteca. O código usado foi exemplo da biblioteca Adafruit VL53L0X disponibilizada pela empresa Adafruit (LADY ADA, 2020). Os valores medidos são mostrados na Figura 40:

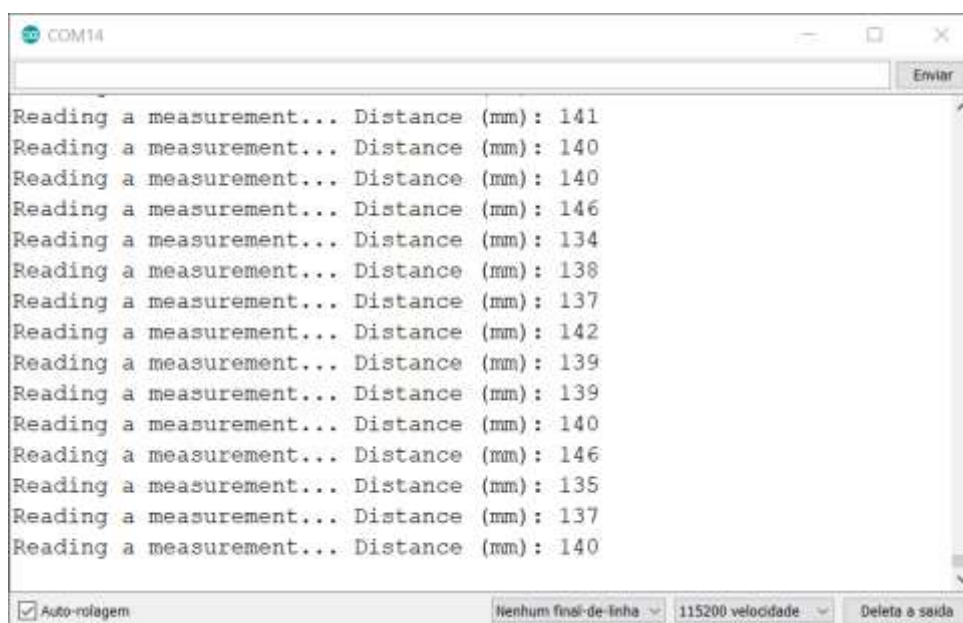


Figura 40 - Tela Monitor Serial sensor *laser*

Conforme Figura 40, este sensor realiza as medições em milímetros. As medições de distância com um objeto foram comparadas com uso de uma régua. Percebeu-se um erro de medição de +45 mm e o programa foi modificado, subtraindo 45 do valor de leitura. Diferente do sensor ultrassônico, este sensor funciona com um feixe fixo de *laser* em direção ao obstáculo. Como este feixe é contínuo e emitido para frente, não capta o obstáculo se este for movido nas laterais. Optou-se por realizar um protótipo cliente para cada tipo de sensor.

7.3 Testes de conexão entre circuitos

Este teste utilizou-se de duas plataformas com microcontrolador ESP8266, uma como servidor (ESP-WROOM-02) e outra como cliente (NodeMCU). O cliente estava com um botão em uma das portas do microcontrolador e o servidor com um LED, conforme Figura 41. O botão serviu como prévia de envio de sinal por requisição ao servidor e o LED teve por intuito representar o atuador para o projeto, que fará o alerta ao idoso quando houver obstáculos detectados.

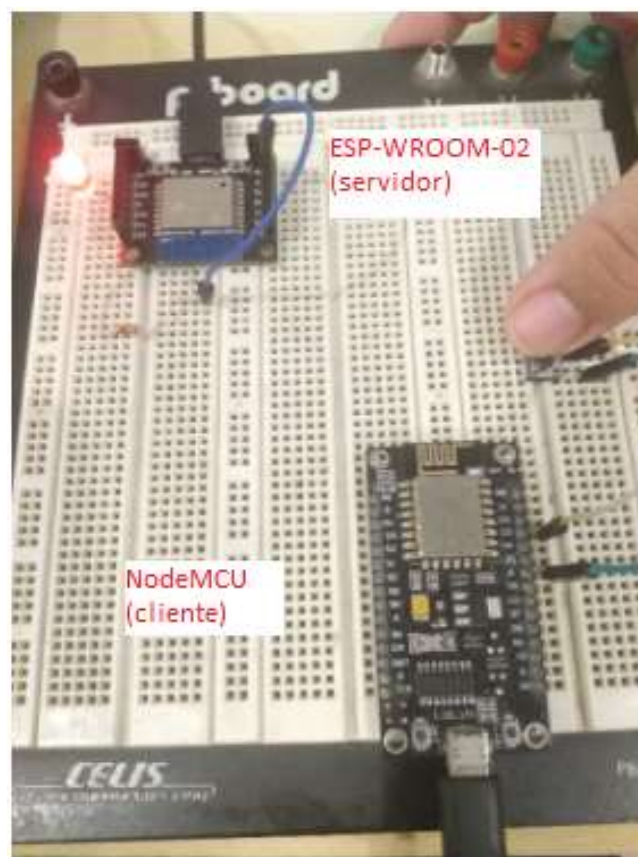


Figura 41 - Montagem teste botão e LED

Conforme visto na Figura 41, quando se realizou a requisição do cliente ao servidor, o LED ligado ao servidor acendia ou apagava conforme botão estivesse pressionado ou não. Este teste serviu para verificar a resposta de conexão entre dois dispositivos.

Após este teste ser bem-sucedido, o botão foi trocado por um sensor ultrassônico para realizar a detecção de possíveis obstáculos, ilustrado na Figura 42. Para fins experimentais foi programada uma distância menor que 10 cm do sensor para que o LED no servidor acendesse.

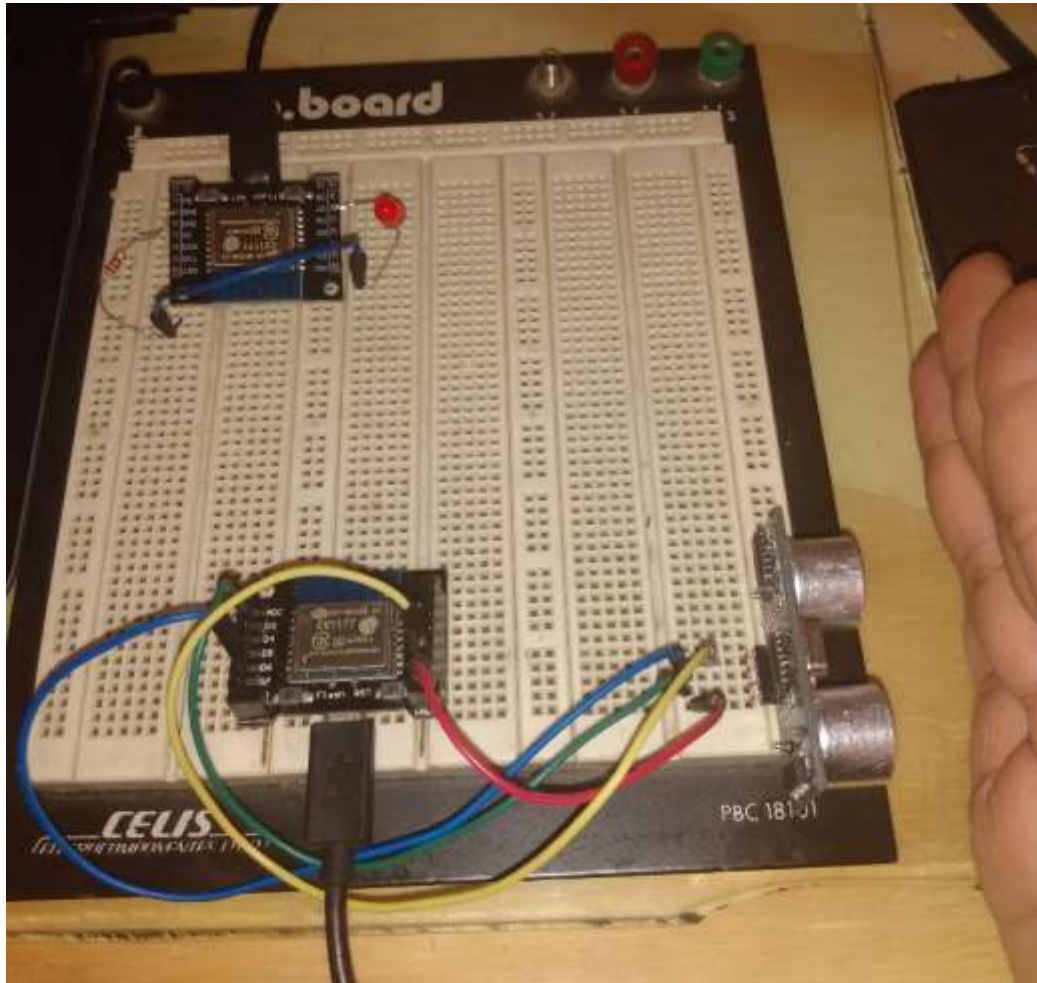


Figura 42 - Montagem teste com sensor ultrassônico e LED

Notou-se que o cliente NodeMCU não recebia os valores do sensor ultrassônico, devido à tensão de operação (3,3 V), já que o sensor funciona com 5 V. A plataforma foi substituída por um ESP-WROOM-02, idêntico ao usado no servidor AP, mostrado na Figura 42.

O LED acendia conforme o movimento da mão sobre o sensor com boa percepção visual no tempo de resposta, ou seja, imediatamente após a detecção de distância menores que 10 cm

e apagava com distâncias maiores que 10 cm. Este teste realizado em bancada, sem interferências dinâmicas, apresentou resultados visuais satisfatórios.

Por fim, foi inserida mais uma plataforma como cliente com sensor ultrassônico e mais um LED junto ao servidor. A conexão foi realizada entre um servidor e dois clientes, para o caso de termos mais de um dispositivo de detecção de obstáculos. Neste caso, houve a percepção visual no LED de um pequeno aumento no tempo de resposta no servidor, quando obstáculos em distâncias menores que 10 cm eram detectados simultaneamente por ambos os clientes. Por isso a preferência se deu ao uso de apenas dois dispositivos, um servidor e um cliente por vez.

7.4 Testes com os protótipos

Utilizando a primeira versão do cliente (com sensor ultrassônico), foi definida a distância mínima para alerta. O valor obtido de forma experimental foi de 100 cm, que se mostrou uma distância segura para evitar a colisão com obstáculos. Os valores de 100 cm ou menores eram enviados ao servidor, que variavam os intervalos de vibração dos motores sobre o bracelete. A rede WiFi gerada pelo servidor está alocada no canal 1, com frequência de 2,4 GHz, com pouca interferência por outras redes domésticas.

O primeiro teste consistiu no uso da pochete na altura da cintura para detecção de obstáculos dentro de uma residência. Porém, grande parte dos obstáculos eram mais baixos que a altura da cintura, como sofás, cadeiras e *racks*, portanto foi realizado um novo teste onde o protótipo cliente foi colocado na altura da coxa, próxima ao joelho, conforme Figura 43.



Figura 43 - Protótipo cliente 1 vestido

Na Figura 43 é possível visualizar o protótipo cliente 1 próximo ao joelho direito e o bracelete servidor no pulso esquerdo. O valor de distância para alerta foi mantido em 100cm. O espaço de testes consiste em uma sala de estar e cozinha, representados através de *software* de modelagem 3D Blender na Figura 44.



Figura 44 - Espaço de teste 3D³

O caminho percorrido nos testes pode ser visualizado na Figura 45.

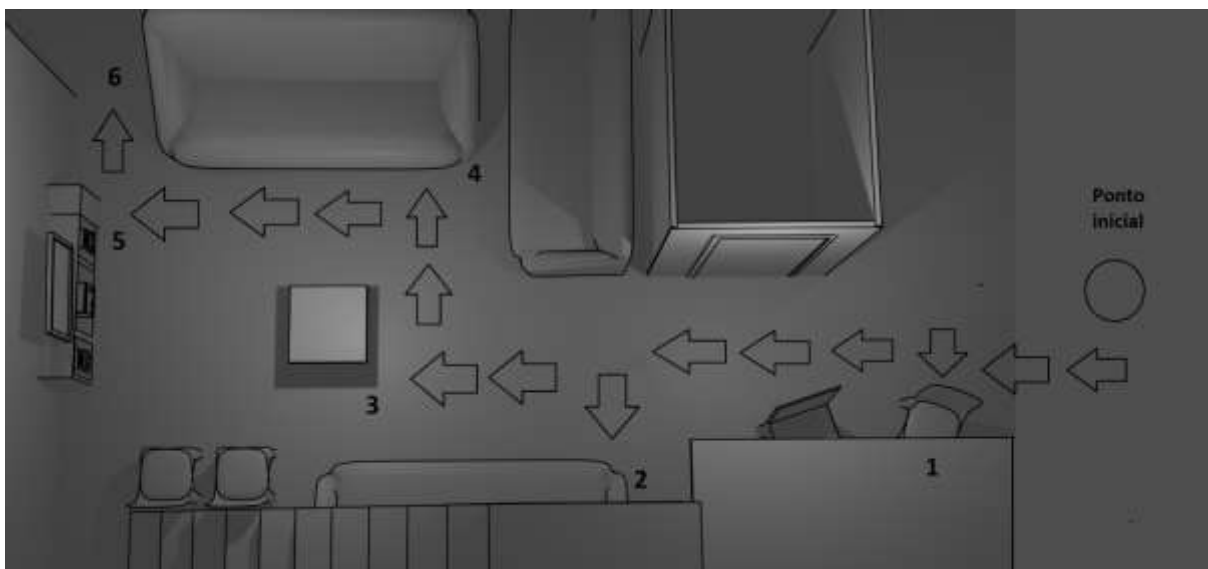


Figura 45 - Caminho percorrido em testes⁴

^{3,4} Imagem por Guilherme Razgriz

A Figura 45 mostra a vista superior do espaço de testes, com indicação de ponto inicial, trajeto através de setas e obstáculos detectados com números. A Tabela 2 mostra a relação de obstáculos e seus respectivos números.

Tabela 2 - Relação de obstáculos

Número	Obstáculo
1	Cadeira
2	Sofá esquerdo
3	Mesa central
4	Sofá direito
5	Rack
6	Porta

O mesmo teste foi aplicado para o protótipo cliente 2, com sensores *laser*, conforme Figura 46.



Figura 46 - Protótipo cliente 2 ao corpo

Da mesma forma que o protótipo cliente 1, o segundo protótipo foi vestido junto à coxa próxima ao joelho, como mostrado na Figura 46. Os testes foram repetidos no mesmo espaço.

Para simular uma marcha com mais lentidão e baixa visão, foram realizados outros testes, com uso de um par de caneleiras de 1 kg cada, e óculos de segurança embaçados com sabão em pasta, conforme Figura 47.



Figura 47 - Protótipos e equipamentos para simulação de situação do idoso (a) Com sensor ultrassônico (b) Com sensores *laser*

Os testes utilizando os equipamentos vistos na Figura 47 foram realizados de modo idêntico aos primeiros, tendo seus resultados apresentados na seção 7.5.

7.5 Resultados

Os ensaios com os protótipos 1 e 2 foram realizados de quatro maneiras diferentes (Tabela 3), por 15 vezes cada, pelo mesmo percurso (mostrado na Figura 45). Em dois destes ensaios foram utilizadas caneleiras e óculos de segurança embaçados (simulando baixa visão) chamados de *equipamentos* na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição dos Ensaios

Ensaio	Descrição
1	Com protótipo 1 e sem equipamentos
2	Com protótipo 2 e sem equipamentos
3	Com protótipo 1 e com equipamentos
4	Com protótipo 2 e com equipamentos

Os tempos foram cronometrados a partir do deslocamento do ponto inicial até o obstáculo 1; do obstáculo 1 ao 2, assim sucessivamente. Os tempos detectados podem variar de acordo com a velocidade da marcha do indivíduo, bem como a detecção feita pelo sensor. Tentou-se realizar marchas com tempo semelhante em todos os ensaios, mas não foi possível mensurar a velocidade exata a cada locomoção realizada.

A Tabela 4 faz relação entre os obstáculos (OBT) e tempo de detecção para o ensaio 1, foram tabelados 15 testes para cada objeto.

Tabela 4 - Tempo de detecção, ensaio 1

OBT	TEMPO DE DETECÇÃO (s) PARA 15 TESTES (T1 a T15)														
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
1	5,6	3,3	5,5	3,1	4,3	4,5	4,2	5,2	4,4	4,7	4,0	4,4	4,9	5,2	3,1
2	12,4	6,3	11,0	8,5	5,9	11,4	7,5	9,8	11,6	7,4	5,1	6,8	11,3	9,3	4,9
3	5,4	4,2	5,1	5,4	4,2	4,2	4,7	5,4	3,9	3,9	5,0	5,3	4,4	5,1	3,7
4	2,5	2,8	3,3	3,1	3,7	3,0	2,5	3,7	2,6	2,8	3,1	3,9	2,6	3,1	4,0

5	11,6	4,0	3,7	3,8	10,5	11,1	3,6	10,0	10,2	6,7	3,6	7,6	3,7	8,5	3,8
6	7,8	7,5	5,0	3,2	3,3	7,4	2,5	4,6	3,9	4,7	4,0	6,5	7,0	3,9	3,4

Conforme mostrado na Tabela 4, é possível avaliar que tempo de resposta do sensor ultrassônico é relativamente elevado em ensaio dinâmico, exigindo uma marcha cuidadosa. Observou-se que alguns obstáculos foram detectados quando estavam muito próximos, principalmente em distâncias curtas entre obstáculos.

A número de motores em vibração varia conforme distância: um motor somente para distâncias entre 30 a 100 cm, dois motores para distâncias menores que 30 cm, que precisa de um alerta maior. Notou-se que a comunicação entre protótipos sofreu interferência quando próximo ao *rack* devido à TV, o que deve ser considerado.

Os tempos obtidos para o segundo ensaio encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Tempo de detecção, ensaio 2

OBT	TEMPO DE DETECÇÃO (s) PARA 15 TESTES (T1 a T15)														
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
1	4,9	4,6	3,5	3,7	4,5	3,0	4,8	3,4	4,0	3,7	3,1	4,5	4,0	3,4	2,9
2	7,0	5,2	5,4	5,3	4,7	5,9	7,0	6,9	6,4	5,8	6,5	5,9	5,2	5,7	4,4
3	2,0	2,7	2,2	2,2	4,7	2,1	5,3	2,9	3,9	4,3	2,2	3,3	2,9	3,1	3,9
4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5
5	13,1	8,8	8,2	6,1	10,7	6,7	5,6	9,0	12,1	4,7	9,7	6,2	8,2	7,0	3,9
6	2,0	2,4	2,1	2,4	2,5	2,0	2,5	2,4	2,2	2,0	2,2	2,2	2,4	2,3	2,0

Como verificado na Tabela 5, os testes realizados com a segunda versão do cliente (com sensores *laser*) levaram a um tempo de resposta menor que o da primeira versão. Diferente do protótipo 1 que contém um único sensor, para o envio das informações de distância foi

acrescentado no programa um laço condicional, para quando um dos três sensores detectasse distâncias menores que 1 m, o cliente envia ao servidor que aciona um ou os dois motores de vibração dependendo da distância aferida.

Para o terceiro teste, obtiveram-se os dados contidos na Tabela 6.

Tabela 6 - Tempo de detecção, ensaio 3

OBT	TEMPO DE DETECÇÃO (s) PARA 15 TESTES (T1 a T15)														
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
1	8,9	5,3	8,8	4,4	7,9	6,3	3,7	3,0	6,0	6,2	5,7	5,5	7,9	7,6	2,8
2	13,1	5,9	12,4	6,2	12,8	9,6	8,4	7,7	10,4	6,4	10,3	12,3	5,0	6,0	4,5
3	8,9	6,0	7,5	6,7	6,2	7,1	5,7	5,3	8,5	8,5	6,6	7,2	7,7	4,5	4,1
4	9,4	7,6	4,7	8,2	7,1	6,2	7,7	3,8	9,3	4,1	3,5	6,4	3,8	6,6	3,1
5	14,1	12,5	11,5	5,8	6,6	10,0	12,6	5,6	7,2	7,8	6,8	5,9	10,5	10,5	5,8
6	13,6	6,3	7,0	4,5	9,0	9,6	6,0	6,7	5,3	4,3	12,0	9,0	12,8	4,1	3,7

O terceiro ensaio faz uso dos equipamentos para simulação da marcha do idoso. A grande maioria dos testes resultou em colisão nos obstáculos 3 e 6 sem aviso do servidor quando se fazia uma marcha mais rápida. As distâncias entre obstáculos 2-3 e 5-6 são menores que os demais, também contribuindo para tais colisões. Também se notou que muitas vezes a detecção do obstáculo se dava quando muito próximo deste, com distâncias de 10 a 30 cm. Os dados referentes ao último ensaio podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 - Tempo de detecção, ensaio 4

OBT	TEMPO DE DETECÇÃO (s) PARA 15 TESTES (T1 a T15)														
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
1	3,1	1,8	2,6	2,9	3,7	2,5	3,7	3,7	2,1	3,4	3,1	1,7	3,0	2,8	1,7
2	4,0	4,5	8,8	7,8	5,2	7,0	7,2	9,5	4,3	4,1	6,1	9,4	5,3	4,3	4,1
3	4,0	5,2	3,0	2,6	4,8	4,6	2,6	5,4	2,7	4,1	2,0	3,9	4,5	2,7	1,7
4	3,5	5,3	5,4	4,9	5,3	4,4	5,8	8,3	3,6	7,6	2,6	5,1	4,9	5,1	1,7
5	4,3	5,1	5,8	5,6	5,9	3,5	6,3	7,8	4,6	4,9	5,1	4,6	3,6	4,6	2,9
6	3,8	2,8	3,2	4,9	2,7	2,7	4,5	4,9	4,3	4,2	2,5	4,4	2,9	4,8	2,3

Assim como no ensaio 3, o ensaio 4 também fez uso dos mesmos equipamentos. Assim como no segundo ensaio, os tempos de reação do protótipo 2 permitem ao usuário uma marcha mais confortável, sem tanta cautela. Na figura 48, a seguir, é apresentada a análise de desempenho dos testes.

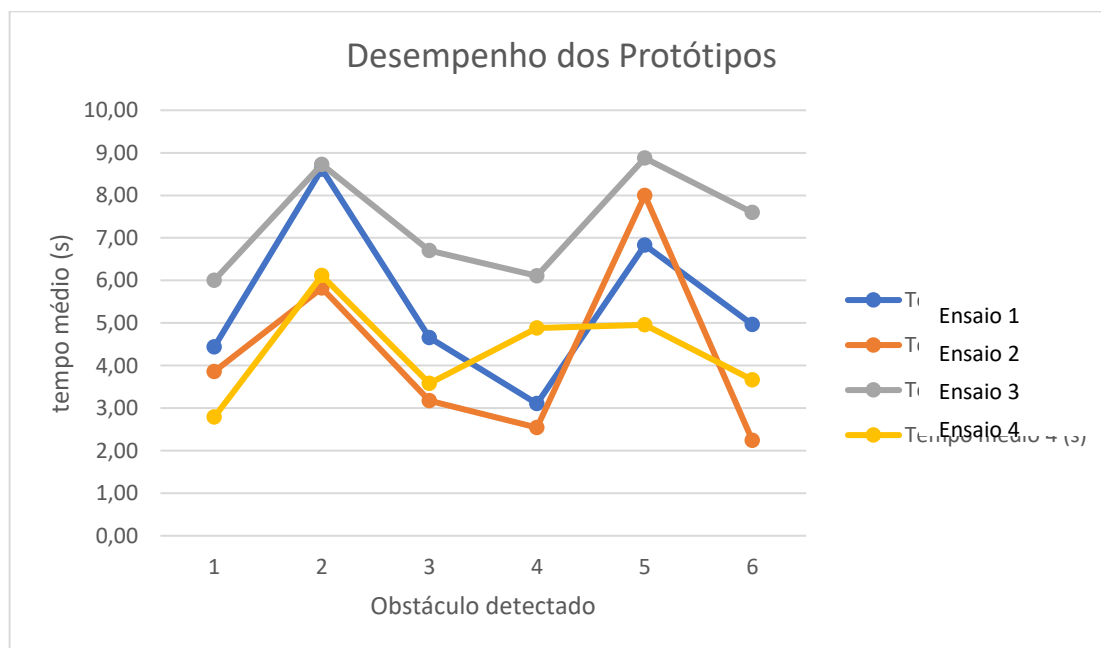


Figura 48 - Análise de desempenho dos protótipos

Através da Figura 48, que apresenta um gráfico das médias dos tempos de todos os ensaios, é possível notar que a maior parte das distâncias detectadas pelo protótipo 2 (ensaios 2 e 4) foram percebidas mais rapidamente pelo bracelete servidor do que as detectadas pelo protótipo 1. Porém, na distância percorrida entre obstáculos 4-5, foi observado no tempo do ensaio 2 um aumento significativo, devido a lacunas do *rack* e posição do protótipo durante a marcha.

8 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Foram desenvolvidos dois protótipos de dispositivo cliente, cada um contendo um tipo de sensor de distância ultrassônico e *laser*. Ambos foram posicionados na altura da coxa durante os testes iniciais, que se mostrou melhor para detectar objetos de diferentes tamanhos e em diferentes posições do ambiente. O uso dos equipamentos óculos e caneleiras reduziu o tempo de marcha, porém, ainda assim, o uso do protótipo 2 com sensor *laser* apresentou uma detecção mais precisa e com tempo de resposta mais curto, portanto mais seguro.

As ondas produzidas pelo sensor ultrassônico sofreram interferências advindas de aparelhos eletrônicos presentes no ambiente, como a televisão, por exemplo. Isso fez com que os motores vibrassem de forma não correspondente às distâncias medidas quando o cliente estava em uma região de interferência, o que leva a uma insegurança do usuário. Em futuros estudos, pode ser experimentado o uso de filtro para que sejam atenuadas tais interferências.

O sensor *laser* mostrou-se superior ao sensor ultrassônico pela rapidez da detecção e resposta dada pelo bracelete ao usuário, além da não-interferência dos resultados mesmo o sensor estando próximo a aparelhos eletrônicos. Isso fez com que o envio da informação ao servidor fosse mais rápido, permitindo-o acionar através de sinais as massas vibratórias com distâncias seguras ao usuário. Fatores como posição dos sensores e distância do obstáculo com lacunas podem trazer tempos maiores para detecção, como mostrado no ensaio 2.

Ambos os protótipos puderam ser desenvolvidos de forma vestível e se mostraram de fácil utilização, além de serem leves.

Considerando os resultados alcançados pelos protótipos utilizados neste trabalho, pode-se dizer que, ao se unir a *Internet das Coisas*, *Hardware Aberto* e a *Tecnologia Wearables*, é possível auxiliar o idoso a evitar obstáculos que possam causar quedas, devolvendo parte importante de sua autonomia, com uso de equipamento vestível.

O Movimento *Faça-Você-Mesmo* foi de grande importância em todas as esferas deste trabalho, sem o qual nenhum dos dispositivos utilizados existiriam da forma como concebidos nos tempos atuais. O mesmo ocorre em relação ao acesso às tecnologias utilizadas, tanto no seu desenvolvimento quanto na sua comunicação.

Os testes realizados no ambiente doméstico, não dinâmico, foram positivos e mais eficazes quando utilizado o protótipo 2.

Conclui-se que o dispositivo de auxílio a marcha do idoso funciona no que diz respeito a alertar sobre obstáculos, e, portanto, contribui para uma marcha segura, o que leva também a uma maior independência e qualidade de vida do usuário. Aliado a isto o equipamento vestível permite fácil colocação e diversas construções de acordo com o usuário, sendo leve e podendo ser bastante discreto.

Para estudos futuros, sugere-se realizar testes em ambientes dinâmicos e, após ser verificada a segurança do protótipo, realizar os testes clínicos com os pacientes. Nos testes clínicos os pacientes poderão utilizar mais de um equipamento de auxílio a marcha e então se verificar a real contribuição do equipamento aqui proposto.

BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, P. M. D. **Sistema de controle fisiológico para próteses de membro superior**. São Carlos: [s.n.], 2006.

AKASHI, A. Arduino Severino - Site Oficial!. **arduino tutorial**, 2008. Disponível em: <<http://arduinotutorial.blogspot.com/2008/03/arduino-s3v3rino-site-oficial.html>>. Acesso em: 05 abril 2020.

APPLE. Apple Watch Series 5. **Apple BR**, 09 setembro 2019. Disponível em: <<https://www.apple.com/br/apple-watch-series-5/>>. Acesso em: 03 março 2020.

BANZI, M.; SHILOH, M. **Primeiros Passos com o Arduino**. São Paulo: Novatec, 2015.

BAOLONG ELECTRONIC. Motor de vibração 1027. **DC Small Coin Vibration Motor**, 2020. Disponível em:

<<https://www.vibrationmotors.com/product-catalogue/coin-vibration-motors/coin-vibration-motor-bvm1027-x10-1b02u-b/>>. Acesso em: 18 agosto 2020.

BAUERMEISTER, G. Guia do Usuário do ESP8266: conceitos básicos - FilipeFlop, 22 março 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/guia-do-usuario-do-esp8266>>. Acesso em: 20 janeiro 2020.

BRASIL. L13146. **Presidência da República**, 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm>. Acesso em: 06 abril 2020.

BRITO, E. O que é Ping? **TechTudo**, 2012. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/04/o-que-e-ping.html>>. Acesso em: 09 jul. 2020.

BRUTSAERT, É. F. A nova bomba de insulina automatizada é realmente um pâncreas artificial?. **Manual MSD - Versão para Profissionais de Saúde**, 2016. Disponível em: <<https://www.msdmanuals.com/pt/profissional/news/editorial/2016/11/02/14/08/artificial-pancreas-editorial>>. Acesso em: 26 jul. 2020.

CHAGAS, D. A. Marminino, o Arduino Cearense. **Fazedores**, 2014. Disponível em: <<https://blog.fazedores.com/marminino-o-arduino-cearense/>>. Acesso em: 05 abril 2020.

CISCO IBSG. The Internet of Things, Abril 2011. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf>. Acesso em: 15 janeiro 2020.

CONVEX. A história da Cultura Maker. **Convex**, 21 maio 2019. Disponível em: <<https://convexnet.com.br/historia-da-cultura-maker/>>. Acesso em: 28 fevereiro 2020.

CRUZEIRO, A. D. C. Saiba mais sobre a história e visões por trás do movimento maker! **VIA**, 6 março 2019. Disponível em: <<http://via.ufsc.br/historia-e-visoes-por-tras-do-movimento-maker/>>. Acesso em: 20 dezembro 2019.

DIAS, R. B. D. M.; PORTELLA, M. R.; TOURINHO FILHO, H. Quedas em idosos: fatores de risco, consequências e medidas preventivas. **A terceira idade**, São Paulo, v. v.22, n. n.51, p. 20-29, jul 2011.

DICIO. Marcha - Dicio, Dicionário Online de Português, 2016. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/marcha/>>. Acesso em: 09 maio 2020.

EQUIPE EMBARCADOS. Sistema Embarcado - O que é? Qual a sua importância? **Embarcados**, 26 agosto 2018. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/sistema-embarcado/>>. Acesso em: 25 fevereiro 2020.

EQUIPE LEDERMAN. Facilitando a vida dos idosos com baixa visão. **Senior Lederman**, 2020. Disponível em: <<http://senior.ledermanconsulting.com.br/servicos-orientacoes-dicas-ajuda-como-eu-posso-fazer/facilitando-a-vida-dos-idosos-com-baixa-visao/>>. Acesso em: 12 fevereiro 2020.

ESQUENAZI, D.; SILVA, S. R. B.; GUIMARÃES, M. A. M. Aspectos fisiopatológicos do envelhecimento humano e quedas em idosos. **Revista HUPE v.13 nº2**, Rio de Janeiro, 2014.

GARRITY, J. Efeitos do envelhecimento nos olhos. **Manual MSD - Versão Saúde para a Família**, março 2019. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%B3rbios-oftalmol%C3%B3gicos/biologia-dos-olhos/efeitos-do-envelhecimento-nos-olhos>>. Acesso em: 01 abril 2020.

GARTNER. Gartner Says 5.8 Billion Enterprise and Automotive IoT Endpoints Will Be in Use in 2020, 2019. Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-08-29-gartner-says-5-8-billion-enterprise-and-automotive-iot>>. Acesso em: 18 ago. 2020.

GOOGLE. Discover Glass Enterprise Edition. **Glass**, 2019. Disponível em: <<https://www.google.com/glass/start/>>. Acesso em: 20 janeiro 2020.

HARTMAN, K. **Wearables Electronics - Design, prototype and wear your own interactive garments**. Sebastopol: O'Reilly, 2014.

IMO. Tecnologia pode ajudar idosos com baixa visão. **IMO - Instituto de Moléstias Oculares**, 2020. Disponível em:

<<http://imo.com.br/tecnologia-pode-ajudar-idosos-com-baixa-visao/>>.

Acesso em: 03 fevereiro 2020.

KENSHIMA, G. **Nas linhas do Arduino**. São Paulo: Novatec Editora, 2020.

KHAZAENI, L. M. Catarata. **Manual MSD - Versão Saúde para a Família**, maio 2018. Disponível em:

<<https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%B3rbios-ofthalmol%C3%B3gicos/catarata/catarata>>.

KNIBBS, K. As origens ilegais dos primeiros dispositivos vestíveis da história. **Gizmodo Brasil**, 17 agosto 2015. Disponível em: <<https://gizmodo.uol.com.br/origens-ilegais-primeiros-dispositivos-vestiveis/>>. Acesso em: 20 janeiro 2020.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a Internet**: uma abordagem top-down. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

LADY ADA. Adafruit VL53L0X Time of Flight Micro-LIDAR Distance Sensor Breakout. **Adafruit Learning System**, 23 fevereiro 2020. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/adafruit-vl53l0x-micro-lidar-distance-sensor-breakout/arduino-code>>. Acesso em: 04 fevereiro 2020.

LENARDT, M. H. et al. Velocidade da marcha e escore cognitivo em idosos usuários da atenção primária. **Revista Brasileira de Enfermagem**, Curitiba, nov-dez 2015. 1163-1168.

LIMA, C. B.; VILLAÇA, M. V. M. **AVR e Arduino - Técnicas de Projeto 2ª ed.** Florianópolis: Edição dos Autores, 2012.

MACIEL, A. Quedas em idosos: um problema de saúde pública desconhecido pela comunidade e negligenciado por muitos profissionais da saúde e por autoridades sanitárias brasileiras. **Rev Med Minas Gerais**, p. 20(4): 554-557, 2010.

MAKEFASHION. Gamer Girls. **MakeFashion**, abril 2016. Disponível em: <<http://www.makefashion.ca/projects/gamer-girls/>>. Acesso em: 02 abril 2020.

MEHTA, S. Degeneração macular relacionada à idade (DMRI). **Manual MSD - Versão Saúde para a Família**, maio 2019. Disponível em:

<<https://www.msdmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-ofthalmol%C3%B3gicos/doen%C3%A7as-da-retina/degenera%C3%A7%C3%A3o-macular-relacionada-%C3%A0-idade-dmri>>. Acesso em: 03 abril 2020.

MENDES, J. D. V. Mortandade por causas externas no Estado de São Paulo de 2000 a 2016. **BEPA - Boletim Epidemiológico Paulista**, maio 2019. 11-24.

MENDES, L. U. S. **Análise ergonômica da situação dos idosos pedestres em relação à sinalização de Copacabana**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, 2008.

MENEZES, R. L. D.; BACHION, M. M. Condições visuais autorrelatadas e quedas em idosos institucionalizados. **Revista Brasileira de Oftalmologia**, Goiânia, v. 71, n. n.1, p. 23-27, jan/fev 2012.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Sistema de Vigilância de Violências e Acidentes (Viva): 2009, 2010 e 2011 / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância de Doenças e Agravos não Transmissíveis e Promoção da Saúde**. Brasília. 2013.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Córnea. **Brasil**, 2017. Disponível em: <<https://www.saude.gov.br/saude-de-a-z/doacao-de-orgaos/cornea>>. Acesso em: 05 abril 2020.

MONQUEIRO, J. C. B. Entendendo os sistemas embarcados. **Hardware.com.br**, 2007. Disponível em: <<https://www.hardware.com.br/artigos/entendendo-sistemas-embarcados/>>. Acesso em: 05 abril 2020.

MONTEIRO, M. M. B. et al. **A importância do acesso à informação sobre o uso de recursos de tecnologia assistiva para a população idosa com deficiência visual**. V Fórum de Tecnologia Assistiva e Inclusão Social da Pessoa com Deficiência. Belém: [s.n.]. 2016. p. 387-397.

MOTA, A. HC-SR04 - Sensor Ultrassônico com Arduino - Tutorial, 14 maio 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/hc-sr04-sensor-ultrassonico/>>. Acesso em: 20 dezembro 2019.

NAINGGOLAN, L. Mais de um terço dos pacientes com diabetes tipo 1 desistem do sistema de administração de insulina em circuito fechado. **Medscape**, 2019. Disponível em: <<https://portugues.medscape.com/verartigo/6503404>>. Acesso em: 26 jul. 2020.

NAYLAMP. Tutorial de Arduino y sensor ultrasónico HC-SR04. **Naylamp Mechatronics**, 2017. Disponível em: <https://naylampmechatronics.com/blog/10_Tutorial-de-Arduino-y-sensor-ultras%C3%B3nico-HC-S.html>. Acesso em: 15 fevereiro 2020.

NEVES, B. B. **Qualidade de vida e coerção em idosos que utilizam tecnologia assistiva, na forma de teleassistência**. Programa de Pós Graduação em Gerontologia PUCRS. Porto Alegre, p. 65. 2018.

NUSSEY, J. **Arduino para leigos - Tradução da 2ª edição**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

OLIVEIRA, E. Como usar com Arduino – Sensor Ultrasonico HC-SR04. **MasterWalker Shop**, 2019. Disponível em:

<<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-ultrasonico-hc-sr04/>>.

OLIVEIRA, S. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. São Paulo: Novatec, 2017.

OPEN SOURCE INITIATIVE. The 2-Clause BSD License, 24 setembro 2018. Disponível em:

<<https://opensource.org/licenses/BSD-2-Clause>>. Acesso em: 04 março 2020.

ORDÓÑEZ, J. L. Dispositivos y tecnologías wearable. **ACTA**, 2016. Disponível em: <https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/041001.pdf>. Acesso em: 30 janeiro 2020.

PICCIARELLI, S. Sony, Walkman e Andreas Pavel: a história do primeiro aparelho stereo portátil. **Meio Bit**, 2011. Disponível em:

<<https://meiobit.com/87828/sony-walkman-andreas-pavel/>>. Acesso em: 18 março 2020.

PINHO, L. et al. Avaliação Isocinética da função muscular do quadril e do tornozelo em idosos que sofrem quedas. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, Belo Horizonte, 2005.

PISA, P. O que é IP? **TechTudo**, 07 maio 2012. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/05/o-que-e-ip.html>>. Acesso em: 20 fevereiro 2020.

POLOLU. Vibration Motor 11.6×4.6×4.8mm. **Pololu Robotics & Electronics**, 2020. Disponível em:

<<https://www.pololu.com/product/2265/specs>>. Acesso em: 18 ago. 2020.

PREITE SOBRINHO, W. Mortes por queda quadruplicam e se aproximam do número de homicídios em SP. **UOL Notícias**, 07 julho 2019. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/saude/ultimas-noticias/redacao/2019/07/07/mortes-por-queda-quadruplicam-e-se-aproximam-do-numero-de-homicidios-em-sp.htm>>. Acesso em: 26 fevereiro 2020.

RAMOS, A. **Fisiologia da visão – Um estudo sobre o “ver” e o “enxergar”**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, 2006.

RAZGRIZ, G. **O XYZ da Impressão 3D**. São Paulo: Instituto Newton C. Braga, 2019.

REDAÇÃO CANALTECH. Primeiro smartwatch do mundo chegou às lojas em 1977. **HostGator**, 16 novembro 2015. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/smartwatch/primeiro-smartwatch-do-mundo-chegou-as-lojas-em-1977-52423/>>. Acesso em: 17 janeiro 2020.

REPRAP. RepRapPro Huxley. **RepRap**, 19 abril 2019. Disponível em: <https://reprap.org/wiki/RepRapPro_Huxley>. Acesso em: 03 março 2020.

RHEE, D. J. Glaucoma. **Manual MSD - Versão Saúde para a Família**, agosto 2017. Disponível em: <<https://www.msdmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-ofthalmol%C3%B3gicos/glaucoma/glaucoma>>. Acesso em: 03 abril 2020.

ROAT, M. I. Ceratoconjutivite seca. **Manual MSD - Versão Saúde para a Família**, outubro 2018. Disponível em:

<<https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-ofthalmol%C3%B3gicos/doen%C3%A7as-da-c%C3%B3rnea/ceratoconjutivite-seca>>.

Acesso em: 03 abril 2020.

SANTOS, V. S. D. Estrutura interna dos olhos. **Mundo Educação**, 2019. Disponível em:

<<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/estrutura-interna-dos-olhos.htm>>. Acesso em: 02 abril 2020.

SARAVATI. Sensor de Obstáculos Infravermelho E18-D80NK. **Saravati Materiais Técnicos**, 2020. Disponível em:

<<https://www.saravati.com.br/sensor-de-obstaculos-infravermelho-e18-d80nk>>. Acesso em: 25 fevereiro 2020a.

SARAVATI. Sensor Distância Laser VL53L0X V2. **Saravati Materiais Técnicos**, 2020. Disponível em:

<<https://www.saravati.com.br/sensor-distancia-laser-vl53l0x-v2>>. Acesso em: 25 fevereiro 2020b.

SILVA, L. C. D. **O design de equipamentos de Tecnologia Assistiva como auxílio no desempenho das atividades de vida diária de idosos e pessoas com deficiência, socialmente institucionalizados**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 1-103. 2011.

SILVA, T. L. et al. A associação entre a ocorrência de quedas e a alteração de equilíbrio e marcha em idosos. **Revista Saúde e Pesquisa**, Catanduva, v. v.7, n. n.1, p. 25-34, jan/abr 2014.

SOUZA, F. Franzininho - Um Arduino para todos. **Embarcados**, 2017. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/franzininho/>>. Acesso em: 05 abril 2020.

STEVEAN JR, S. L. **IoT Internet das Coisas - Fundamentos e aplicações em Arduino e NodeMCU**. São Paulo: Érica, 2018.

TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, D. **Redes de Computadores**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

TAVARES, M. M. K.; SOUZA, S. T. C. D. Os idosos e as barreiras de acesso às novas tecnologias da informação e comunicação. **Revista Renote - Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 1-7, 2012.

TECHTUDO. Playstation VR. **TechTudo**, 2019. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/tudo-sobre/playstation-vr.html>>. Acesso em: 22 março 2020.

TORRES, G. G. **Tecnologia Assistiva para Detecção de Quedas: Desenvolvimento de Sensor Vestível Integrado ao Sistema de Casa Inteligente**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 1-71. 2018.

TREVISAN, B.; SANTINO, R. Novo Google Glass com cara de óculos normal é apresentada; conheça. **Olhar Digital**, 21 maio 2019. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/noticia/google-anuncia-oculos-de-realidade-aumentada-com-visual-mais-comum/85978>>. Acesso em: 17 janeiro 2020.

APÊNDICE A – Tabela de custos

Qte	Item	Valor item (US\$)	Valor total (US\$)
3	X-8266	4.16	12.48
3	Motor de vibração 1027	0.53	1.59
1	Sensor ultrassônico HC-SR04	0.99	0.99
3	Sensor <i>laser</i> VL53L0X V2	2.27	6.81
2	Baterias lipo 3,7V 220mAh	2.32	4.64
1	Bateria li-íon 18650	1.88	1.88
3	Carregador de bateria TP4050	0.33	0.99
3	Chave liga/desliga	0.3	0.9
2	Cabo 10 vias	0.65	1.30
1	Abraçadeiras plásticas	1.16	1.16
1	Solda em rolo	2.01	2.01
1	Tecido algodão/elastano (m)	3.36	10.08
1	Tecido algodão (m)	2.35	2.35
1	Rolo Velcro 16mm	6.34	6.34
1	Kit colchetes de pressão	1.51	1.51
1	Kit Linha para costura	1.54	1.54
Total protótipos			56.57