



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Diogo do Vale Costa Mateus Prata

Luva robótica controlada por fala



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Diogo do Vale Costa Mateus Prata

Luva robótica controlada por fala

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia

Eletrónica Industrial e Computadores

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Fernando Ribeiro

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



**Atribuição
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Agradecimentos

Ao terminar este trabalho, não poderei deixar de agradecer a todos aqueles que, de certa forma, contribuíram com um papel importante de me manter sempre focado e determinado a atingir os objetivos definidos. Assim sendo, gostaria de agradecer:

- Ao meu orientador Dr. Fernando Ribeiro, que mostrou, logo de início, um grande interesse por me guiar neste novo projeto. Agradeço todas as ajudas e novas ideias que me foi facultando ao longo do projeto e, também, a sua disponibilidade para me arranjar qualquer material que fosse necessário.
- À professora Dra. Manuela Silva, do Departamento de Química, pela sua simpatia, acesso ao seu laboratório e todos os materiais que necessitasse e todo o tempo gasto para me ajudar no desenvolvimento das membranas. Um obrigado também ao professor auxiliar Dr. Carlos Costa, do departamento de física, por me ter auxiliado em certas tarefas no laboratório.
- À Dra. Isabel Correia pela revisão ortográfica e gramatical da dissertação.
- À minha família e namorada por todo o apoio e incentivo que me deram neste percurso académico.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Luva robótica controlada por fala

Resumo

Esta dissertação tem, como principal objetivo, o desenvolvimento de um mecanismo capaz de auxiliar uma pessoa com paralisia muscular nas mãos, a realizar tarefas simples do dia a dia que envolvam o necessário uso das mãos, tais como agarrar objetos.

A paralisia muscular é o resultado de danos nos nervos no cérebro ou na medula espinal devido a acidente, doença, ou mesmo alguma condição de nascença. Quando os músculos são incapazes de contrair, a pessoa deixa de ser capaz de realizar movimentos com a zona afetada pela paralisia. Por vezes, este problema pode ser indicativo de uma doença mais grave do nervo (neuropatia), do músculo (miopatia) ou de ambos.

O mecanismo em questão baseia-se numa luva robotizada controlada por comandos de voz. O material da luva é composto principalmente por neopreno, um material flexível e confortável ao utilizador. Para o sistema de controlo por fala, é utilizado um pequeno módulo de reconhecimento de voz que, após a sua programação, de acordo com o comando de voz fornecido pelo utilizador, aciona os atuadores inseridos na luva, de modo a estes dobrarem os dedos da pessoa, permitindo-lhe, assim, realizar diversas tarefas simples.

Este projeto destina-se a uma pessoa específica com paralisia muscular nos membros superiores, tendo por isso o tamanho da luva sido escolhido com rigor para a pessoa em questão.

Palavras-Chave: Luva robótica, Músculo artificial, Paralisia muscular, Reconhecimento de fala.

Speech-controlled robotic glove

Abstract

This dissertation has, as its main goal, the development of a mechanism capable of assisting an individual with muscular paralysis on his hands to perform simple tasks that require their movement, such as grabbing objects.

Muscular paralysis is the result of brain nerve or spinal cord damage due to an accident, disease or birth condition. When muscles are unable to contract, the person is no longer able to perform movements with the area affected by the paralysis. This problem can sometimes be indicative of a more serious disease of the nerve (neuropathy), muscle (myopathy) or both.

This mechanism is based on a robotic glove controlled by voice commands. The glove material is mainly composed by neoprene, a very flexible and comfortable material for the user. For the speech control system, a small speech recognition module is used which, after programming it, according to the voice command provided by the user, the actuators inserted in the glove are activated, so they are able to bend the fingers of the individual, then allowing him to perform several simple tasks.

This project is aimed at a specific person with muscular paralysis in the upper limbs, so the size of the glove was initially chosen rigorously for the person in question.

Keywords: Artificial muscle, Muscular Paralysis, Robotic glove, Speech recognition.

Índice

| | |
|--|------|
| Agradecimentos | iv |
| Resumo..... | vi |
| Abstract | vii |
| Abreviaturas | x |
| Lista de figuras | xi |
| Lista de tabelas..... | xiii |
| Capítulo 1 – Introdução..... | 14 |
| 1.1 Motivação..... | 14 |
| 1.2 Objetivos | 15 |
| 1.3 Estrutura da dissertação | 15 |
| Capítulo 2 – Estado da arte | 17 |
| 2.1 Paralisia muscular..... | 17 |
| 2.2.1 Tipos de paralisia muscular | 17 |
| 2.2.2 Causas..... | 18 |
| 2.2.2.1 Doenças do sistema nervoso..... | 19 |
| 2.2.2.2 Doenças musculares..... | 19 |
| 2.2 Protótipos desenvolvidos..... | 20 |
| 2.2.1 NUADA..... | 20 |
| 2.2.2 Human Grasp Assist..... | 21 |
| 2.2.3 Soft Robotic Glove for Hand Rehabilitation and Task Specific Training..... | 23 |
| 2.2.4 Rehabilitative Robotic Glove | 25 |
| 2.2.5 NeoMano..... | 27 |
| 2.3 Reconhecimento de fala..... | 28 |
| 2.3.1 Arquitetura de sistemas de reconhecimento de fala..... | 30 |
| 2.3.2 Tipos de reconhecimento de fala | 31 |
| 2.3.3 Áreas de aplicação para sistemas com reconhecimento de fala | 31 |
| 2.4 Polímeros eletroativos (PEA) e líquidos iônicos | 32 |
| Capítulo 3 – Desenho e desenvolvimento do protótipo | 33 |
| 3.1 Fluxograma do sistema | 33 |
| 3.2 Hardware utilizado..... | 34 |
| 3.2.1 Arduíno nano..... | 35 |

| | |
|--|----|
| 3.2.2 Módulo de reconhecimento de voz | 37 |
| 3.2.3 Microfone de eletreto | 38 |
| 3.2.4 Ponte-H – L293D..... | 39 |
| 3.2.5 Micromotor com caixa redutora – 50RPM..... | 41 |
| 3.3 Firmware para o módulo de reconhecimento de voz..... | 42 |
| 3.4 Implementação dos comandos de voz no Arduíno IDE | 46 |
| 3.5 Luva | 53 |
| 3.6 Atuador..... | 54 |
| 3.7 Caixa para o motor | 56 |
| 3.8 Montagem do circuito..... | 58 |
| 3.9 Protótipo final | 59 |
| Capítulo 4 – Diferentes metodologias..... | 62 |
| 4.1 Fios de nylon revestidos a metal..... | 62 |
| 4.2 Polímeros eletroativos iônicos | 64 |
| Capítulo 5 – Testes e resultados | 67 |
| Capítulo 6 – Conclusão | 75 |
| 6.1 Trabalho futuro | 76 |
| Referências..... | 77 |
| Anexos..... | 81 |
| Anexo 1 – Instruções para o software “AccessPort” | 81 |

Abreviaturas

NASA - **N**ational **A**eronautics and **S**pace **A**dministration

OMS – **O**rganização **M**undial da **S**aúde

AVC – **A**cidente **V**ascular **C**erebral

ELA – **E**sclerose **L**ateral **A**miotrófica

ELAF - **E**sclerose **L**ateral **A**miotrófica do tipo **F**amiliar

PEA – **P**olímero **E**letoativo

PEAE - **P**olímero **E**letoativo **E**létrico

PEAI - **P**olímero **E**letoativo **I**ônico

LI – **L**íquido **I**ônico

PVDF - **P**oly(**v**inylidene **f**luoride)

DMF - **D**imetilformamida

PWM – **P**ulse **W**idth **M**odulation

SRAM – **S**tatic **R**andom-**A**cess-**M**emory

EEPROM – **E**lectrically-**E**rasable **P**rogrammable **R**ead-**O**nly **M**emory

LED – **L**ight-**E**mitting **D**iode

CAD – **C**omputer-**A**ided **D**esign

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Luva do projeto NUADA [2]..... | 21 |
| Figura 2- Protótipo da Human Grasp Assist [4]..... | 22 |
| Figura 3- Testes da luva juntamente com o Robonaut 2 [3] | 23 |
| Figura 4 - Caixa portátil de controlo de hardware [5]..... | 24 |
| Figura 5 - Estrutura da luva [5] | 24 |
| Figura 6 - Diferentes modos de atuação da luva: A) Nenhum dedo dobrado; B) Polegar e indicador dobrados; C) Polegar e médio dobrados; D) Polegar e anelar dobrados; E) Polegar e mínimo dobrados; F) Apenas polegar dobrado. G) Sinal de apontar – todos os dedos dobrados exceto o indicados; H) Apenas o indicador dobrado [5]..... | 25 |
| Figura 7 - Design do protótipo da luva [6] | 25 |
| Figura 8 - Sistema de atuação da luva [6]..... | 26 |
| Figura 9 - Mochila com os servomotores [6] | 26 |
| Figura 10 - Formato da Luva | 27 |
| Figura 11 - Motor juntamente com caixa para pilhas..... | 27 |
| Figura 12 - Comando para controlar o motor | 28 |
| Figura 13 - Fios de nitinol colocados na luva | 28 |
| Figura 14 - Assistentes virtuais | 29 |
| Figura 15 - Arquitetura de sistemas de reconhecimento de fala [19] | 30 |
| Figura 16 - Fluxograma do sistema | 34 |
| Figura 17 - Diagrama do sistema | 35 |
| Figura 18 - Pinout do Arduino nano [24] [25]..... | 37 |
| Figura 19 - Conversor USB-to-TTL | 37 |
| Figura 20 - Módulo de reconhecimento de voz [26] | 38 |
| Figura 21 - Circuito interno de um microfone de eletreto [27]..... | 38 |
| Figura 22 - Microfone de eletreto | 38 |
| Figura 23 - Esquema da Ponte-H | 39 |
| Figura 24 - Acionamento dos interruptores 2 e 3 – rotação do motor no sentido contrário aos ponteiros do relógio | 39 |
| Figura 25 - Acionamento dos interruptores 1 e 4 – rotação do motor no sentido dos ponteiros do relógio | 39 |
| Figura 26 - Acionamento dos interruptores 2 e 4 – travagem instantânea do motor | 40 |
| Figura 27 - Acionamento dos interruptores 1 e 3 – travagem | 40 |
| Figura 29 - Acionamento dos interruptores 3 e 4 – curto-circuito | 40 |
| Figura 28 - Acionamento dos interruptores 1 e 2 – curto-circuito | 40 |
| Figura 30 - Pinout do integrado L293D [29]..... | 41 |
| Figura 31 - Micromotor com caixa redutora..... | 41 |
| Figura 32 - Conversor USB-to-TTL ligado à interface 5V TTL do módulo de reconhecimento de voz..... | 42 |
| Figura 33 - Ambiente do software "AccessPort" | 42 |
| Figura 34 - Gestor de dispositivos | 43 |
| Figura 35 - Configuração da porta série..... | 43 |
| Figura 36 - Selecionar "Modo Comum" | 43 |

| | |
|---|----|
| Figura 37 - Apagar um grupo de comandos de voz | 44 |
| Figura 38 - Gravação dos comandos de voz | 45 |
| Figura 39 - Importar um grupo | 45 |
| Figura 40 - Confirmação dos comandos | 46 |
| Figura 41 - Configuração do Arduino IDE | 47 |
| Figura 42 - Fluxograma - setup do programa..... | 48 |
| Figura 43 - Fluxograma - função Loop do programa..... | 50 |
| Figura 44 - Fluxograma - implementação dos comandos "ativar" e "desligar" | 51 |
| Figura 45 - Fluxograma - implementação dos comandos "fechar" e "abrir" | 52 |
| Figura 46 - Luva de neopreno..... | 53 |
| Figura 47 - Alicate de furo | 53 |
| Figura 48 - Alicate para colocar ilhós..... | 53 |
| Figura 49 - Luva com ilhós e fio | 53 |
| Figura 50 - Disposição do fio dos dedos até ao motor | 54 |
| Figura 51 - Fio de costura | 54 |
| Figura 52 - Encaixe do veio do motor no parafuso | 55 |
| Figura 53 - Inserção do fio no parafuso | 55 |
| Figura 54 - Ligação entre ponte-H com arduino e motor..... | 56 |
| Figura 55 - Desenho em CAD da caixa para o motor..... | 56 |
| Figura 56 - Caixa para o motor impressa em 3D | 57 |
| Figura 57 - Motor posicionado dentro da caixa | 57 |
| Figura 58 – Montagem do circuito do sistema | 58 |
| Figura 59 - Protótipo final | 59 |
| Figura 60 - Tala para polegar..... | 60 |
| Figura 61 - Extensómetro | 60 |
| Figura 62 - Colocação do enrolamento sob tensão | 63 |
| Figura 63 - Testes com atuador | 63 |
| Figura 64 - Molde + atuador | 63 |
| Figura 65 - Comando "Ativar" | 67 |
| Figura 66 - Comando "Abrir" | 67 |
| Figura 67 - Comando "Fechar" | 68 |
| Figura 68 - Comando "Desligar" | 68 |
| Figura 69 - Teste do funcionamento dos comandos de voz..... | 69 |
| Figura 70 - Teste com motor na vertical | 70 |
| Figura 71 - LED aceso - luva ativa | 70 |
| Figura 72 - Luva a fechar | 71 |
| Figura 73 - Luva a abrir..... | 72 |
| Figura 74 - Luva a agarrar um comando de televisão..... | 73 |
| Figura 75 - Luva a agarrar uma carteira..... | 73 |
| Figura 76 - Luva a agarrar um saco com 1,5 kg..... | 73 |
| Figura 77 - Luva a agarrar um haltere de 3 kg | 74 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Pinout do Arduino nano | 36 |
| Tabela 2 - Pinout do integrado L293D | 41 |
| Tabela 3 - Preço dos componentes | 61 |

Capítulo 1 – Introdução

Quando um grupo muscular perde a força total ou parcial de contração, a pessoa deixa de conseguir movimentar adequadamente a parte afetada do corpo, designando-se este problema por paralisia muscular. Esta pode ser originada por danos nos nervos causados por acidentes, alguma doença ou até condições de nascença.

Para pessoas com paralisia total ou parcial nas mãos, existem soluções capazes de as auxiliar no movimento dos dedos para que possam realizar ações simples, como segurar um objeto. Uma dessas soluções é precisamente o tema que esta dissertação aborda, que consiste numa luva robotizada capaz de auxiliar a pessoa no movimento dos dedos. Assim, é possível oferecer uma vida mais autónoma e independente a pessoas com este tipo de deficiência muscular.

1.1 Motivação

Apesar de já existirem alguns produtos no mercado com capacidade para auxiliar uma pessoa com paralisia muscular nas mãos, nenhum deles funciona através de comandos de voz. Estes são ativados a partir de botões ou através de sensores colocados no braço da pessoa de modo a detetar, graças aos movimentos dos músculos, que reação o utilizador deseja realizar com a mão.

Este projeto foi desenvolvido para uma pessoa que possui paralisia muscular nos membros superiores e que não tem atividade muscular do ombro para baixo, ou seja, o uso de sensores em nada resultaria, muito menos um botão, visto que a pessoa em questão não tem força para clicar no mesmo.

Através de comandos de voz, torna-se muito mais simples para o utilizador servir-se do equipamento, neste caso uma luva, para conseguir realizar tarefas simples com as suas mãos.

O gosto pela robótica e o facto de este projeto ser direcionado para uma pessoa de família são os principais fatores de motivação para o desenvolvimento deste projeto.

1.2 Objetivos

O foco deste projeto é o desenvolvimento de uma luva robotizada, capaz de auxiliar uma pessoa com paralisia muscular nas mãos na realização de tarefas que envolvam o uso das mãos, tais como, agarrar um objeto, por exemplo. Este equipamento é mais indicado para pessoas que consigam movimentar o pulso e o braço e que tenham pouca ou nenhuma força nas mãos.

De uma forma resumida, os objetivos passam por:

- Definir a arquitetura do sistema de acordo com as necessidades e funcionalidades desejadas para o protótipo.
- Estudar e escolher o melhor material para a luva.
- Estudar vários mecanismos/atuadores que realizem o efeito desejado e, posteriormente, selecionar o mais apropriado.
- Selecionar e programar um dispositivo de reconhecimento de voz com os comandos desejados.
- Selecionar e programar uma placa Arduino de modo a esta acionar os atuadores.
- Realizar testes a todos os componentes individualmente e ao sistema completo.
- Montar o protótipo final.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos:

- O primeiro capítulo destina-se à introdução do tema, onde se apresenta o problema principal, o que motivou a resolvê-lo, bem como os objetivos necessários para o cumprir.
- No segundo capítulo são apresentados projetos e produtos já desenvolvidos relacionados com este projeto. Ainda neste segmento, são apresentados os principais conceitos, tecnologias e fundamentos necessários para o desenvolvimento deste protótipo.

- No terceiro capítulo é relatado o desenvolvimento do projeto. Aqui será apresentado, inicialmente, o fluxograma do sistema seguido de todo o *hardware* e *software* utilizado para o desenvolvimento do protótipo. De seguida, serão mostrados todos os procedimentos realizados, desde a montagem de circuitos à programação do hardware e, finalmente, a montagem do protótipo final.
- No quarto capítulo são apresentados todos os testes realizados, tal como os resultados obtidos nos mesmos.
- No quinto capítulo são apresentadas duas metodologias diferentes no desenvolvimento dos atuadores, nas quais não se obtiveram os resultados esperados.
- O sexto capítulo dita uma conclusão retirada deste projeto, bem como uma análise ao trabalho realizado. Ainda neste segmento, são apresentados trabalhos futuros e *upgrades* relativos ao protótipo desenvolvido.

Capítulo 2 – Estado da arte

Neste capítulo, é exposto e explicado o problema principal: a paralisia muscular. Após essa contextualização, são mostrados alguns projetos já existentes semelhantes ao desenvolvido neste trabalho que visam solucionar esse problema. De seguida, são apresentados outros conceitos relevantes no contexto desta dissertação. A ordem subsequente dos tópicos pretende introduzir primeiro o leitor para o conceito base deste projeto, a paralisia muscular, e só depois contextualizá-lo acerca dos outros conceitos secundários.

2.1 Paralisia muscular

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define paralisia como “um distúrbio do sistema nervoso central que resulta em dificuldade ou incapacidade de mover as extremidades superiores ou inferiores” [1].

A paralisia ocorre quando uma pessoa é incapaz de movimentar certas partes do corpo após haver algum problema com a sua conexão ao cérebro, podendo ser temporária, permanente ou até mesmo aparecer e desaparecer. Normalmente, uma pessoa que esteja paralisada por um defeito de nascença ou por uma lesão súbita é incapaz de sentir ou mover a parte do corpo que está paralisada, enquanto que alguém paralisado por uma condição médica como a esclerose múltipla, poderá apenas sentir um formigueiro e/ou fraqueza muscular. Dependendo da zona paralisada, esta doença pode causar problemas a nível da circulação do sangue, respiração, fala, entre outros.

2.2.1 Tipos de paralisia muscular

Existem diferentes tipos de paralisia muscular:

- Paralisia total – quando uma pessoa não consegue mover nem controlar a parte do corpo paralisada. Poderá, ainda, não conseguir sentir nada nesses músculos.
- Paralisia parcial ou incompleta – quando ainda se consegue sentir algo no músculo e, possivelmente, ter um pouco de controlo sobre ele.

- Paralisia localizada – apenas afeta uma área específica, como a cara, pés, mãos ou cordas vocais.
- Paralisia generalizada – é mais espalhada pelo corpo e é dividida em diferentes tipos, dependendo do local (cérebro ou medula espinal) lesionado:
 - Monoplegia – apenas afeta um membro.
 - Diplegia – afeta a mesma área dos dois lados, como os dois braços, as duas pernas ou os dois lados da cara.
 - Hemiplegia – afeta um lado do corpo. Geralmente, este tipo de paralisia generalizada ocorre quando existe um derrame cerebral, que danifica apenas um lado do cérebro.
 - Tetraplegia – paralisa os quatro membros e, por vezes, pode paralisar certos órgãos.
 - Paraplegia – paralisa a pessoa da cintura para baixo.
 - Síndrome de bloqueio – é a forma de paralisia mais rara e mais grave. Ocorre quando a pessoa deixa de poder controlar qualquer músculo do seu corpo, exceto aqueles que controlam o movimento dos olhos.

2.2.2 Causas

Os AVC's são a principal causa de paralisias musculares, normalmente devido a artérias bloqueadas no pescoço ou no cérebro. Podem, também, aparecer devido a uma lesão no cérebro ou na medula espinal, causada por um acidente de carro, por exemplo. Estes dois casos fazem parte de um grupo de doenças que levam as pessoas a ter este problema, as chamadas “doenças do sistema nervoso”, como os AVC's, ELA's, a doença de Lyme, entre outras. O outro grupo é denominado “doenças musculares”, que incluem várias miopatias, como distrofias musculares e miopatias inflamatórias [2].

2.2.2.1 Doenças do sistema nervoso

AVC (Acidente Vascular Cerebral) – é definido pela OMS como “uma disfunção aguda do cérebro, originária de vasos e com duração de mais de um dia”. Um AVC ocorre quando os vasos que levam sangue ao cérebro entopem ou rompem, provocando a paralisia da área do cérebro que ficou sem circulação sanguínea. Estima-se que cerca de 700 mil pessoas sofrem AVC's anualmente. Existem dois tipos de AVC's, os isquémicos e os hemorrágicos. Os primeiros ocorrem como resultado de uma obstrução dentro de um vaso sanguíneo que fornece sangue ao cérebro. Já os segundos, resultam de um vaso sanguíneo enfraquecido que rompe e sangra no cérebro circundante [1] [3].

ELA (Esclerose Lateral Amiotrófica) – é uma doença neuronal que é caracterizada pela perda progressiva dos neurónios motores superiores e inferiores a nível da coluna vertebral e pode ocorrer de duas formas. A mais comum, que atinge entre 90% a 95% dos doentes, sucede de forma esporádica, não tendo qualquer componente hereditário, ao contrário da ELAF (Esclerose Lateral Amiotrófica do tipo Familiar) que ocorre devido ao fator hereditário, constituindo os restantes 5% a 10% [4].

Doença de Lyme – é uma doença causada pela espécie bacteriana *Borrelia*, designada *Borrelia burgdorferi* (*Bb*) e é transmitida por carrapatos da espécie *Ixodes ricinus*. Os humanos são infetados através de uma picada do carrapato na pele. A bactéria tem de estar em contacto com a pele pelo menos 24 horas para resultar em infeção. O risco aumenta consoante o tempo que a pessoa estiver exposta à picada [5]. Os sintomas, numa fase inicial, são ligeiros. Podem incluir comichão, fadiga, febre, dores de cabeça e dores musculares. Mas alguns sintomas mais graves podem demorar semanas ou meses a aparecer. Podem surgir artroses, sintomas no sistema nervoso como paralisia dos nervos, irregularidades no batimento cardíaco, entre outros [6].

2.2.2.2 Doenças musculares

Distrofia muscular – refere-se a um grupo de doenças hereditárias que causam enfraquecimento muscular ao longo do tempo. Esta fraqueza limita bastante a mobilidade, o que dificulta a realização de tarefas do dia-a-dia. Existem dois grupos de distrofias musculares, a de

Duchenne e Becker e a congénita, e cada um deles afeta diferentes músculos e tem sintomas diferentes. Trata-se de uma doença rara e não se sabe quantas pessoas poderão estar afetadas, mas estima-se que 1 em 10 mil pessoas tenham distrofia muscular [7] [8].

Miopatía inflamatória – também conhecida por miosite, é uma condição rara que pode afetar vários órgãos além dos músculos, e compromete, muitas vezes, a qualidade de vida da pessoa afetada. O mais relevante sintoma de miosite consiste no aparecimento de debilidade nos braços ou nas pernas, que pode ocorrer durante vários dias ou semanas. Algumas queixas típicas por parte de pacientes com esta doença indicam, também, problemas em andar e subir escadas, levantar um objeto acima da cabeça e, ainda, dores nos músculos [9].

2.2 Protótipos desenvolvidos

Para ajudar pessoas com problemas de paralisia nas mãos, existem diversos protótipos de luvas robóticas. Neste segmento serão apresentados alguns projetos já desenvolvidos e qual o método utilizado para a atuação da luva, assim como a sua finalidade.

2.2.1 NUADA

Uma *start-up* de Braga chamada NUADA desenvolveu uma luva robótica (Figura 1) com o propósito de ajudar pessoas com fraqueza nas mãos, a obter um melhor *grip*. A luva é composta por uma série de tendões artificiais e sensores que são controlados a partir de um sistema eletromecânico colocado num dispositivo tipo *smartwatch*. Quando o utilizador dobra um pouco o pulso, as funções da luva são ativadas permitindo-lhe manusear ou segurar objetos pesados, sejam sacos de compras ou uma bateria de um carro.

Existe, ainda, uma versão mais avançada da luva, mais cara, claro, que consegue prever o movimento pretendido pelo utilizador e assisti-lo automaticamente. Trabalha também com uma aplicação de telemóvel que permite recolher certos dados, como a força com que se puxa, a

estabilidade enquanto se puxa, os batimentos cardíacos, entre outros, permitindo, depois, partilhá-los com profissionais de saúde para poderem ajudar a pessoa a tornar-se fisicamente mais saudável [10].

O desenvolvimento deste projeto teve, como principal objetivo, ajudar pessoas que sofram de dores ou paralisias das mãos, incluindo pessoas que estejam a recuperar de AVC's ou a sofrer de vários tipos de artroses. O uso desta luva é, também, aconselhado a pessoas com atividades profissionais que exigem trabalhos manuais pesados ou que pratiquem certos tipos de desporto, para prevenir problemas e lesões nas mãos a longo prazo [11].



Figura 1 - Luva do projeto NUADA [2]

2.2.2 Human Grasp Assist

A NASA em parceria com a *General Motors*, desenvolveu um projeto chamado *Human Grasp Assist*, também designado *K-Glove* ou *Robo-Glove* (Figura 2). O desenvolvimento desta luva não teve, como “clientes”, pessoas com problemas musculares, mas sim os seus trabalhadores. A parceria entre as duas gigantes tinha, apenas, uma condição: o desenvolvimento de um equipamento que tanto pudesse ser utilizado por trabalhadores de fábricas automóveis como por astronautas, para assim

beneficiar ambas as empresas. O principal objetivo deste projeto focou-se em reduzir a quantidade de força que um trabalhador de uma fábrica precisa de exercer quando está a trabalhar com uma ferramenta por um tempo prolongado ou com movimentos repetidos, o que ajuda a reduzir a fadiga nos músculos das mãos. Por exemplo, um astronauta que trabalhe num fato pressurizado fora da estação espacial pode precisar de 6 a 9 quilogramas de força para segurar numa ferramenta, mas, com o uso da luva, apenas poderá precisar de 2 a 4 quilogramas.

“A luva protótipo oferece à minha equipa de astronautas uma oportunidade promissora para explorar novas ideias e desafia o nosso pensamento tradicional sobre o que poderia ser a destreza manual da atividade extraveicular”, relata a chefe de divisão da NASA's Johnson Space Center [12].

A luva usa a tecnologia do *Robonaut 2* (Figura 3), um robô humanoide desenvolvido pelas duas empresas em 2007, para aumentar a força do aperto de mão de um humano. O seu funcionamento é muito semelhante ao projeto desenvolvido pela *start-up* NUADA. Utiliza um sistema eletromecânico, sensores, atuadores e tendões com tecnologia de ponta, comparáveis mesmo a nervos, músculos e tendões de uma mão humana [13].

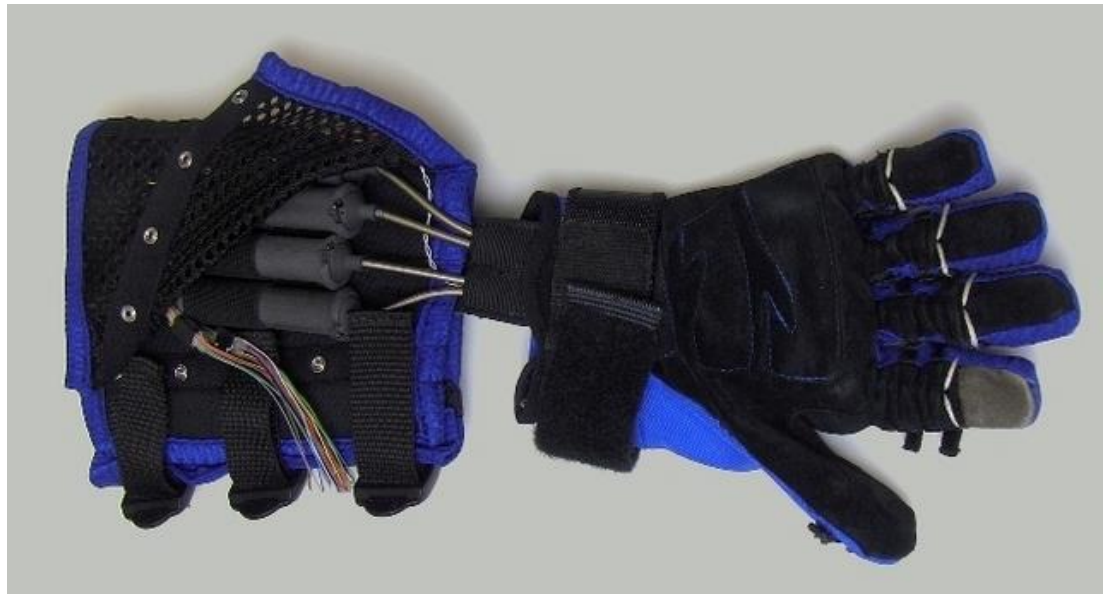


Figura 2- Protótipo da Human Grasp Assist [4]



Figura 3- Testes da luva juntamente com o Robonaut 2 [3]

2.2.3 Soft Robotic Glove for Hand Rehabilitation and Task Specific Training

Esta luva robótica, desenvolvida por investigadores do *Wyss Institute* na Universidade de *Harvard* em *Cambridge*, foi concebida para assistir pessoas com problemas motores das mãos em exercícios de reabilitação. Ela é composta por atuadores suaves feitos de borracha de silicone com reforços de fibra em *Kevlar* que permitem movimentos de flexão, torção e extensão. São, também, utilizadas tiras de velcro (Figura 5), de modo a aplicarem uma força leve para segurar a mão na posição estendida. Para controlar esses atuadores, desenvolveram uma caixa portátil de controlo de *hardware* (Figura 4) que contém interruptores, uma bomba hidráulica, reguladores de tensão elétrica, controladores de válvulas, entre outros componentes necessários para o funcionamento da luva.

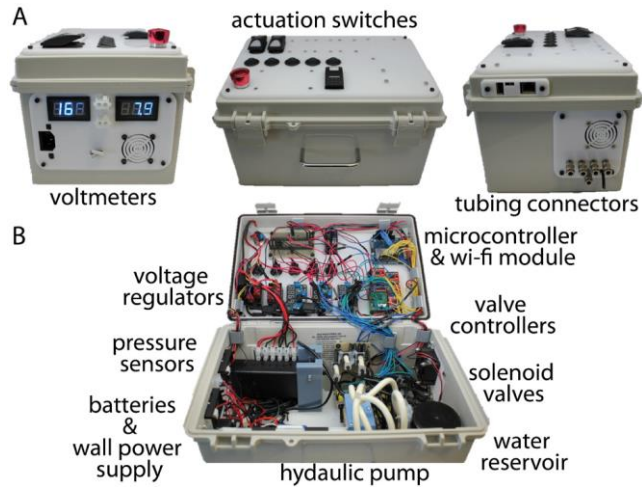


Figura 4 - Caixa portátil de controlo de hardware [5]

O seu funcionamento baseia-se na entrada de ar nos atuadores elastoméricos, de modo a estes incharem e, conseqüentemente, dobrarem. Após a despressurização, os atuadores comportam-se como molas e retornam à posição inicial, com a mão estendida. Através dos interruptores da caixa, é possível seleccionar os dedos que se deseja dobrar, de modo a conseguir realizar diferentes gestos (Figura 6) [14].

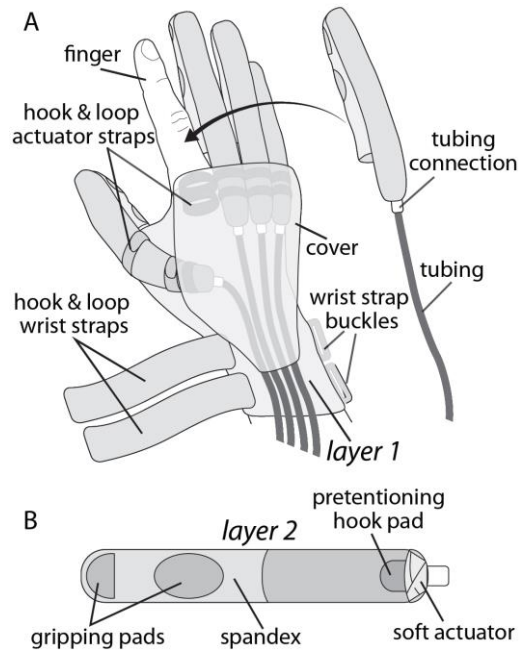


Figura 5 - Estrutura da luva [5]



Figura 6 - Diferentes modos de atuação da luva: A) Nenhum dedo dobrado; B) Polegar e indicador dobrados; C) Polegar e médio dobrados; D) Polegar e anelar dobrados; E) Polegar e mínimo dobrados; F) Apenas polegar dobrado. G) Sinal de apontar – todos os dedos sobrados exceto o indicados; H) Apenas o indicador dobrado [5]

2.2.4 Rehabilitative Robotic Glove

Alunos do Instituto Politécnico de *Worcester* no *Massachusetts* desenvolveram uma luva robótica, também para fins de reabilitação de pessoas com problemas de atrofia muscular nas mãos, derivados de AVC's ou apenas da perda da função motora.

O protótipo consiste numa luva feita em lycra, devido à sua flexibilidade, com cabos presos na ponta dos dedos através de guias de cabos (Figura 7). Estes percorrem o comprimento do braço e do ombro até uma mochila, onde são ligados a servomotores (Figura 8 e 9). Os cabos são de *Kevlar*, não só por serem resistentes à tensão aplicada, mas também pela sua flexibilidade para contornar a mão do utilizador.



Figura 7 - Design do protótipo da luva [6]

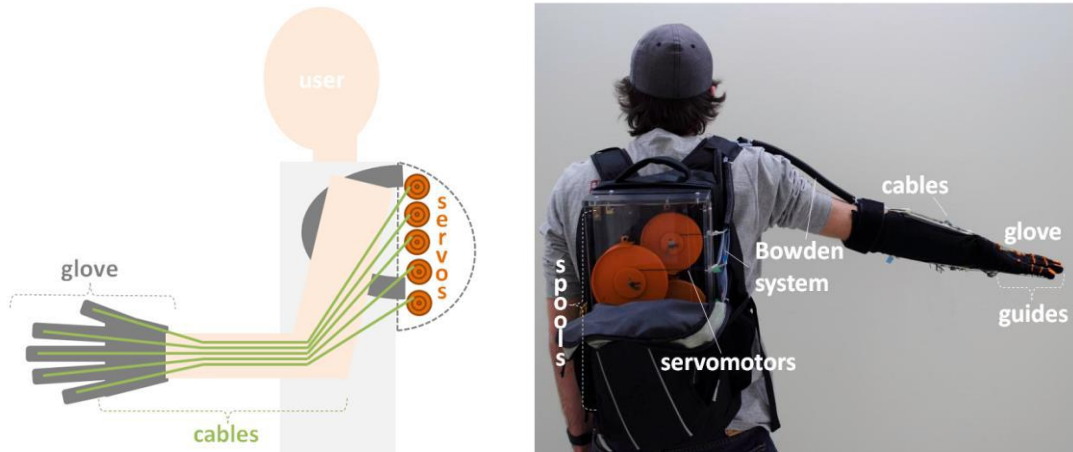


Figura 8 - Sistema de atuação da luva [6]

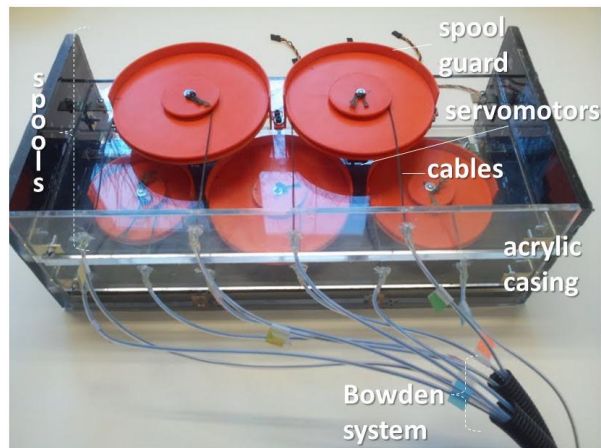


Figura 9 - Mochila com os servomotores [6]

A luva apresenta três modos de controlo: interruptor, posições pré-programadas ou eletromiografia. Graças a um interruptor de três posições, é possível abrir a mão, fechá-la e mover os dedos para a posição inicial, de acordo com a posição do interruptor. Outro modo de controlo é através de uma pré-programação da luva que permite atuar entre diferentes posições. Isto seria ideal, por exemplo, para um terapeuta criar um regime de exercícios para os pacientes. Por fim, a eletromiografia consiste na obtenção de sinais mioelétricos captados através de dois elétrodos bipolares colocados no antebraço, com o intuito de fornecer resistência ou assistência. A primeira faz com que a luva forneça uma força resistiva que se opõe à abertura ou ao fechamento da mão, lutando contra o movimento pretendido pelo usuário e, ao mesmo tempo, proporcionando estabilidade, enquanto que a segunda ajuda o utilizador no movimento pretendido, fornecendo força na mesma direção [15].

2.2.5 NeoMano

A NeoMano é uma luva robótica desenvolvida pela empresa coreana Neofect. Trata-se de uma luva de neopreno que permite a pessoas com paralisia nas mãos desenvolverem atividades do dia-a-dia. Este equipamento, tal como o projeto desta dissertação, é mais indicado para pessoas que consigam movimentar o pulso e o braço e que tenham pouca ou nenhuma força nas mãos.

A luva encaixa apenas sobre os dedos polegar, indicador e médio, deixando os outros dedos e uma parte da mão destapada (Figura 10). Em termos de componentes, o equipamento é constituído por um motor, que é possível retirar e colocar quando se quiser, acoplado a uma caixa onde se colocam as pilhas que o alimentam (Figura 11). Existe, ainda, um comando *bluetooth* com dois botões, um que diz “*Grip*” (apertar) e outro “*Release*” (soltar) (Figura 12), que ativa o motor, de modo a fechar ou abrir a mão. Quando o botão “*Grip*” é pressionado, são puxados uns fios de níquel-titânio, também conhecidos por nitinol, que vão do motor até à ponta dos dedos (Figura 13). O botão “*Release*” solta os fios, permitindo que a mão retorne à sua posição inicial.

Este sistema apenas permite o uso de uma luva numa das mãos, visto que a outra mão é necessária para clicar nos botões [16], ao contrário do projeto desta dissertação no qual, como a luva é ativada por voz, é possível usar uma luva em cada mão.



Figura 10 - Formato da Luva [16]



Figura 11 - Motor juntamente com caixa para pilhas [16]



Figura 12 - Comando para controlar o motor [16]



Figura 13 - Fios de nitinol colocados na luva [16]

2.3 Reconhecimento de fala

Nos dias de hoje, com a enorme evolução da tecnologia, a comunicação mudou bastante. Pode-se tomar como exemplo o caso da comunicação via telemóvel com grandes empresas, nas quais muitas vezes nem é uma pessoa a atender a chamada, mas sim uma voz automática que solicita que se pressione determinados números ou símbolos no teclado. Algumas empresas já idealizaram outro método que consiste no cliente dizer algumas palavras relacionadas com a sua questão para que esta possa ser resolvida.

Tudo isto é possível graças a programas de reconhecimento de fala que utilizam algoritmos com modelação acústica e linguística, na qual a primeira estabelece uma ligação entre unidades linguísticas da fala e sinais de áudio, e a segunda combina os sons com as sequências de palavras. Simplificando, estes programas convertem áudio em texto, sendo assim possível o computador analisá-lo. É possível programar um alarme, abrir ficheiros e muito mais através de simples comandos de voz. Mas não são 100% fiáveis, e é por isso que o reconhecimento de fala não se torna dominante, pelo menos para já. Isto porque os programas existentes têm, por vezes, dificuldade em compreender certos sotaques ou determinadas dificuldades, como a gaguez.

Este método de comunicação trouxe alguns benefícios para o utilizador no que toca ao uso de aplicações móveis. A maior rapidez e facilidade são dois deles e, conseqüentemente, surge um aumento de produtividade visto ser possível realizar mais tarefas num espaço de tempo inferior. A segurança também é um fator bastante importante. Uma pessoa pode estar a conduzir e, por exemplo, fazer uma chamada ou até enviar uma mensagem de texto, tudo através da fala, não implicando, assim, a necessidade de desviar o olhar da estrada ou mexer no telemóvel [17].

Grandes empresas possuem assistentes virtuais capazes de reconhecer a fala, tal como a Apple que desenvolveu a Siri, a Microsoft que criou a Cortana, a Google que desenvolveu a Google Assistant e a Amazon que criou a Alexa (Figura 14) [18]. Todos estes assistentes são capazes de efetuar certas tarefas conforme o comando utilizado pela pessoa.

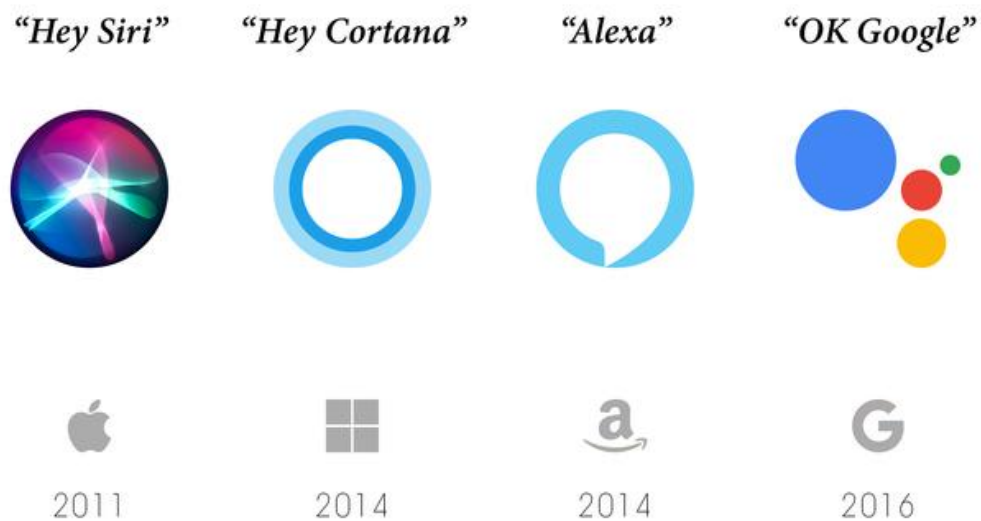


Figura 14 - Assistentes virtuais [18]

Por volta do ano 1000 d.C., foi registada a primeira tentativa de uma tecnologia de reconhecimento de fala. Esta tecnologia baseou-se num instrumento que respondia “sim” ou “não” a perguntas diretas. Apesar de não envolver tecnicamente processamento de voz/som, a ideia por trás desse projeto continua a ser parte da base da tecnologia de reconhecimento de fala que assenta no

uso de um *input* de voz para gerar uma ação. Mil anos depois, os laboratórios Bell desenvolveram a “Audrey”, um sistema capaz de reconhecer os números de um a nove ditados por uma única voz. Mais tarde, a IBM desenvolveu um dispositivo que conseguia reconhecer e diferenciar até 16 palavras [19]. A partir daí, a tecnologia foi evoluindo, e atualmente já existem diversos dispositivos capazes de reconhecer frases longas e muito mais.

2.3.1 Arquitetura de sistemas de reconhecimento de fala

Na figura 15 é possível observar a arquitetura dos sistemas de reconhecimento de fala. O objetivo passa por converter o sinal de som enviado para o sistema em texto, *speech-to-text*, de modo a este conseguir analisá-lo. A análise do sinal é o início desse processo e é seguido de um decodificador *speech-to-text*, que é uma combinação de três modelos (modelo de idioma, modelo de pronúncia e modelo acústico), de modo a obter-se uma transcrição de texto para o discurso efetuado [20].

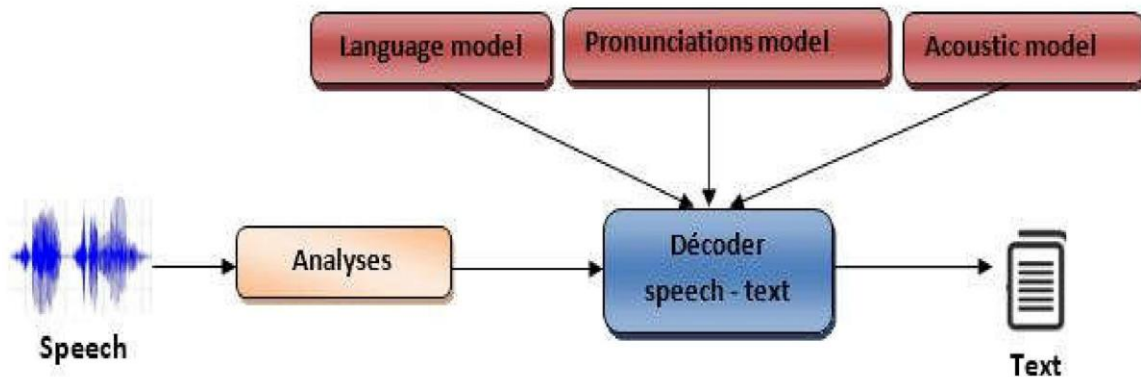


Figura 15 - Arquitetura de sistemas de reconhecimento de fala [20]

2.3.2 Tipos de reconhecimento de fala

Os sistemas de reconhecimento de fala podem ser divididos em várias classes, sendo possível distingui-las através dos tipos de palavras/expressões que eles têm a capacidade de reconhecer. Essas classes podem ser classificadas como:

- Palavras isoladas – normalmente requerem silêncio nos dois lados da janela de amostra, sendo essa amostra uma palavra ou uma expressão, ou seja, exigem que o orador espere entre expressões/palavras.
- Palavras ligadas – semelhantes às palavras isoladas, mas permite que expressões/palavras separadas sejam combinadas, com apenas uma pausa mínima pelo meio.
- Discurso contínuo – permite ao orador falar quase continuamente, enquanto o computador processa o conteúdo. Reconhecedores de discurso contínuo são os mais difíceis de criar porque utilizam métodos especiais para determinar limites de expressões.
- Discurso espontâneo – tem a habilidade de lidar como uma variedade de recursos da fala, como palavras ditas juntas, “ums” e “ahs” e até alguma gaguez [21].

2.3.3 Áreas de aplicação para sistemas com reconhecimento de fala

Os sistemas de reconhecimento de fala têm a capacidade de ajudar pessoas com deficiências físicas a comandar ou controlar alguma coisa através de comandos de voz, o que facilita bastante a realização de tarefas do dia-a-dia. Mesmo algumas pessoas sem essas deficiências preferem utilizar uma interface de voz em vez de escrever num teclado ou realizar alguma tarefa manualmente. Uma aplicação bem conhecida de reconhecimento de fala é a máquina de ditado. Graças a sistemas de telecomunicações, a interface de fala é muito conveniente para inserção de dados, acesso a informações de bases de dados remotas e até reservas de bilhetes, por exemplo. Estes sistemas de

reconhecimento de fala são essenciais em certos casos em que as mãos e olhos estão ocupados, como quando uma pessoa está a conduzir [22].

2.4 Polímeros eletroativos (PEA) e líquidos iónicos

Os PEA's surgiram como grandes candidatos a este tema visto que possuem características bastante interessantes. Estes podem sofrer deformações estruturais como inchaço, encolhimento e deflexão em resposta a um campo eléctrico. Uma grande vantagem destes polímeros passa pelo facto de ser possível controlar os impulsos eléctricos, como o intervalo entre eles e a sua duração. Além disso, têm procedimentos de desenvolvimento relativamente simples e são, na maioria dos casos, baratos.

Existem dois tipos de polímeros eletroativos: eléctricos e iónicos. Os PEA's eléctricos são ativos por campos eléctricos externos e pelas forças de Coulomb. Têm uma grande eficiência, curto tempo de resposta e alta durabilidade e estabilidade, o que faz com que tenha uma alta performance. Em contrapartida, requerem altas tensões, na ordem dos quilovolts, para atuarem. Já os PEA's iónicos são conduzidos pelo movimento de iões e moléculas. Estes têm a vantagem de não necessitarem de altas tensões (normalmente 5-10V é suficiente para atuarem). No entanto, estes polímeros precisam de estar num meio eletrolítico para atuar. Polímeros iónicos, tal como o poly(vinylidene fluoride) (PVDF), contêm características interessantes para aplicações que utilizam atuadores, como os músculos artificiais, devido ao seu controlo de resposta, resistência mecânica e química, estabilidade térmica e propriedades mecânicas apropriadas para o caso [23]. Os principais inconvenientes destes atuadores iónicos, além do referido anteriormente, é a sua baixa durabilidade em condições secas e a sua baixa estabilidade eletromecânica que se refletem, posteriormente, na diminuição da performance dos mesmos.

Para ser possível atingir uma maior estabilidade, maior durabilidade e até maior rapidez de resposta, recorre-se ao uso de líquidos iónicos (LI). Estes são bastante estudados para usar em baterias de lítio, células de combustível, atuadores, entre outros. LI's são sais, normalmente compostos por um catião e um anião e apresentam propriedades como estabilidade química e eletroquímica, não inflamabilidade, e alta condutividade iónica [24].

Capítulo 3 – Desenho e desenvolvimento do protótipo

Neste capítulo, é abordado todo o desenvolvimento experimental deste projeto. Inicialmente é exibido um fluxograma relativo ao funcionamento do sistema desenvolvido, com uma explicação detalhada do mesmo, seguido de uma listagem de *hardware* utilizado na concepção deste equipamento juntamente com um diagrama do sistema. De seguida, é explicado um pouco do funcionamento do *firmware* do módulo de reconhecimento de voz e a implementação do código no IDE do Arduino. Posteriormente, é mostrado como foi posto em prática todo o *hardware* listado anteriormente. Finalmente, é apresentada a montagem dos circuitos juntamente com o protótipo final.

3.1 Fluxograma do sistema

A figura 16 mostra um fluxograma do sistema, isto é, um diagrama/esquema que mostra a sequência de processos possíveis do mesmo. Inicialmente, os dedos do utilizador encontram-se estendidos e a luva, apesar de estar alimentada por uma bateria, encontra-se em modo *stand-by*, saindo desse modo apenas quando o utilizador disser a palavra “Ativar”. Após esse comando de voz, o LED de cor vermelha incorporado no arduino acende para sinalizar que a luva está pronta a utilizar e, de seguida, o sistema fica à espera de outro comando de voz que poderá ser “Fechar” ou “Desligar”. Se o utilizador disser “Desligar”, esse LED desliga-se e o sistema volta ao estado inicial. Caso contrário, se disser “Fechar”, o motor ativa, fazendo puxar os fios que estão presos nas pontas dos dedos, de modo a fazer estes dobrar. Após esse processo, existem, novamente, duas opções de comandos de voz: “Abrir” e, mais uma vez, “Desligar”. Caso o utilizador diga a palavra “Desligar”, o motor roda no sentido contrário, soltando os fios, permitindo que os dedos voltem à posição de esticados, desliga o LED e o sistema volta ao estado inicial de *stand-by*. Se disser antes “Abrir”, acontece o mesmo que com o comando “Desligar”, ou seja, solta os fios, mas a luva continua ativa, com o LED ligado, pronta para receber o comando “Fechar” ou “Desligar, novamente.

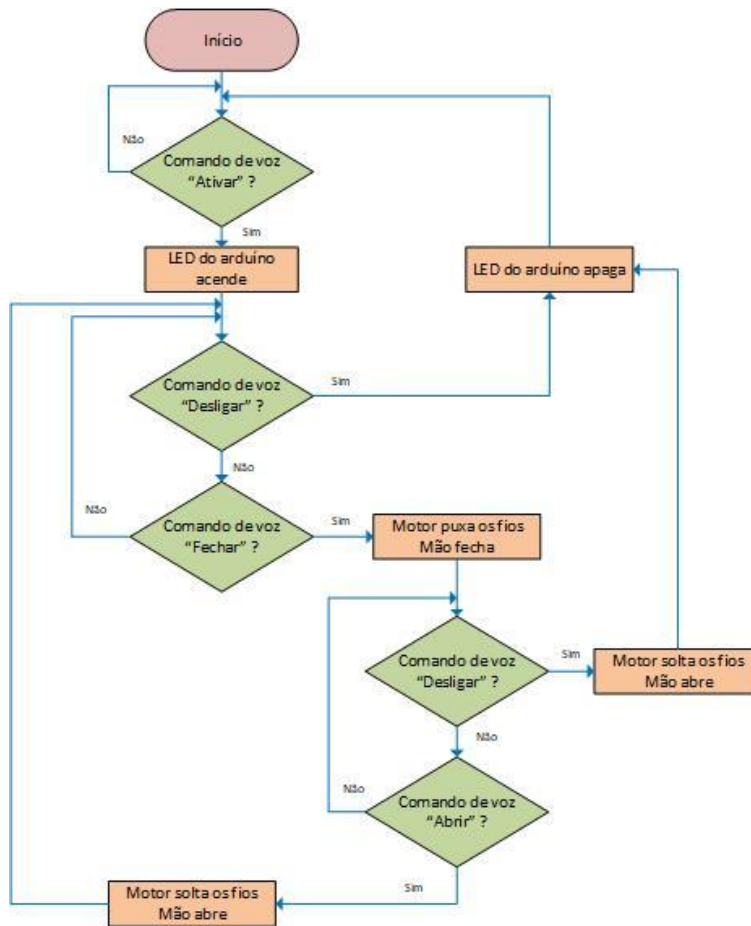


Figura 16 - Fluxograma do sistema

3.2 Hardware utilizado

Na figura 17 é possível observar um diagrama com o *hardware* utilizado neste projeto, de modo a facilitar a compreensão dos componentes usados. Cada um deles foi escolhido devido às suas características:

- Arduino nano.
- Módulo de reconhecimento de voz.
- Microfone de eletreto.
- Integrado L293D – Ponte-H.
- Micromotor com caixa redutora – 50 RPM.

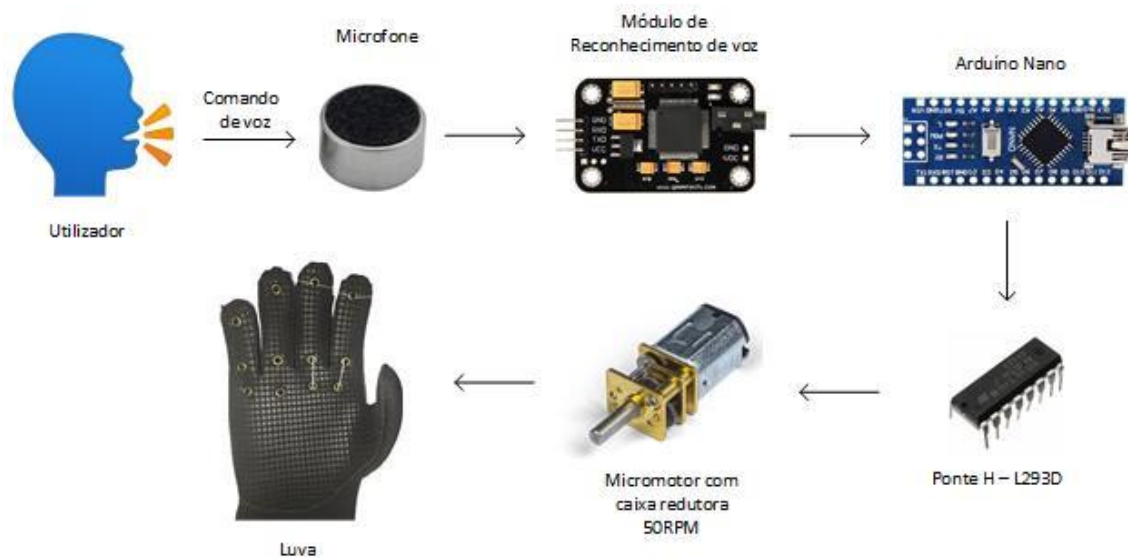


Figura 17 - Diagrama do sistema

3.2.1 Arduino nano

O Arduino nano é uma placa programável pequena e completa composta pelo microcontrolador ATmega328 na terceira versão (Arduino nano 3.0) ou pela ATmega168 na segunda versão (Arduino nano 2.x).

Pode ser alimentado por um cabo Mini-B USB ou por uma fonte de alimentação externa de 6-20V no pino 30 (Vin). Opera a uma tensão de 5V e tem uma tensão de entrada recomendada de 7-12V, sendo o seu limite 6-20V. Dispõe de 14 pinos de entrada/saída digital, sendo que 6 deles funcionam como saídas de PWM, e de 8 pinos de entradas analógicas (Figura 18) (Tabela 1). Os pinos digitais podem ser usados para fazer a interface de sensores usando-os como pinos de entrada ou acionar cargas usando-os como pinos de saída. Os pinos analógicos podem medir tensões analógicas de 0V a 5V.

Alguns desses pinos podem também servir para outras funções:

- Pinos 0 (Rx) e 1 (Tx) – são usados para receber e transmitir dados.
- Pinos 2 e 3 – interrupções externas que podem ser configuradas para acionar uma interrupção no programa de modo a realizar outra tarefa.
- Pinos 3, 5, 6, 9 e 11 – fornecem uma saída de PWM de 8 bits.
- Pinos 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) e 13 (SCK) – usados para comunicação SPI.
- Pino 13 – está ligado a um LED inserido na placa que, quando está *HIGH*, está ligado, e quando está *LOW*, está desligado.
- Pinos 18 e 19 – usados para comunicações I2C.
- AREF – usado para fornecer uma tensão de referência para entradas analógicas.
- Pino RESET – colocando a *LOW*, faz *reset* ao microcontrolador.

O ATmega328 tem 32 KB de memória *flash* para armazenar código, 2 KB de SRAM e 1 KB de EEPROM, usada para armazenar pequenas quantidades de dados que precisam de ser guardados quando a energia é cortada [25] [26].

Tabela 1 - Pinout do Arduino nano

| Número do Pino | Nome | Tipo | Descrição |
|----------------|--------|------------------|---|
| 1-2, 5-16 | D0-D13 | Entrada/Saída | Entradas/Saídas digitais |
| 3, 28 | RESET | Entrada | Reset |
| 4, 29 | GND | Alimentação | Ground |
| 17 | 3V3 | Saída | Saída de +3.3V |
| 18 | AREF | Entrada | Referência do ADC |
| 19-26 | A7-A0 | Entrada | Entradas analógicas |
| 27 | +5V | Entrada ou Saída | Entrada de +5V (por uma fonte de alimentação) Saída de +5V (pelo regulador da placa) |
| 30 | VIN | Alimentação | Tensão de alimentação |

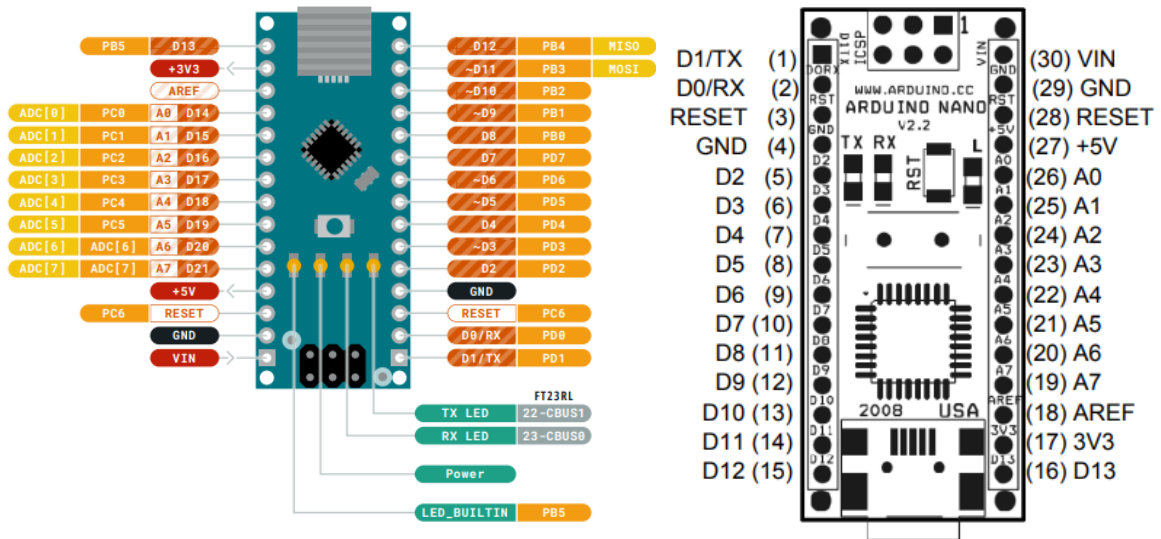


Figura 18 - Pinout do Arduino nano [25] [26]

3.2.2 Módulo de reconhecimento de voz

Este pequeno módulo, desenvolvido pela Geeetech, permite armazenar até 15 instruções de voz, divididas em 3 grupos de 5 comandos cada um. Com este dispositivo, é possível controlar qualquer aparelho elétrico através da voz e, para tal, é necessário programá-lo recorrendo ao *software* AccessPort. Este módulo pode ser configurado enviando comandos via porta série. A sua interface utiliza 5V TTL, por isso foi utilizado um conversor *USB-to-TTL* (Figura 19) [27] de modo a facilitar a sua ligação ao computador.

O módulo de reconhecimento de voz opera com uma tensão entre 4.5V e 5.5V e com uma corrente não superior a 40mA. Dispõe, ainda, de duas interfaces analógicas para ligar o microfone: um conector jack de 3.5mm e uma interface de pinos (Figura 20) [28].

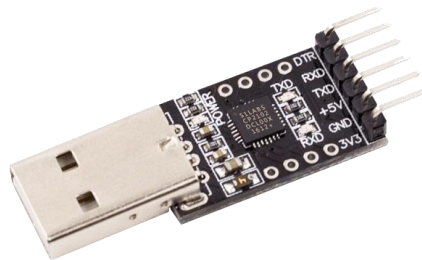


Figura 19 - Conversor USB-to-TTL [27]

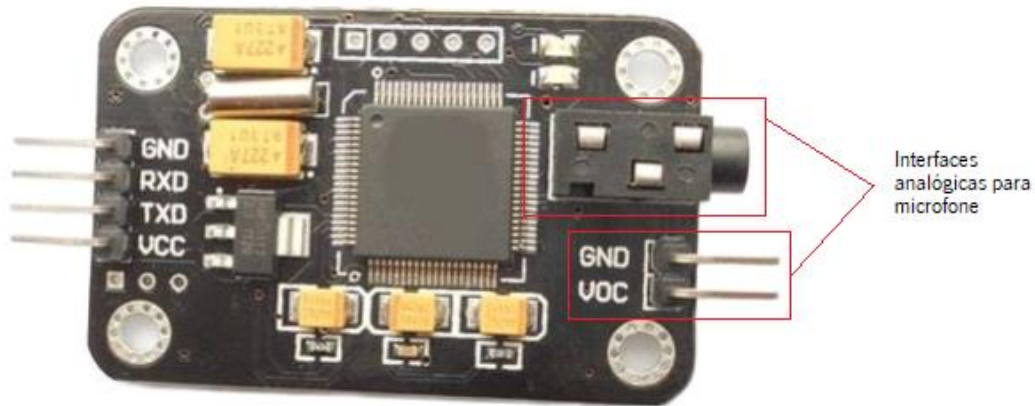


Figura 20 - Módulo de reconhecimento de voz [28]

3.2.3 Microfone de eletreto

Este microfone, também conhecido como microfone de condensador, é um tipo de microfone baseado num condensador eletrostático, que elimina a necessidade de utilizar uma fonte de alimentação, estando permanentemente carregado. Um eletreto é um material dielétrico estável e, geralmente, é fabricado derretendo um material dielétrico adequado, como plástico ou cera que contém moléculas polares, permitindo que se solidifique novamente num campo eletrostático. A voz entra no microfone através de uma abertura na parte de cima do mesmo e movimenta o eletreto. Este movimento altera a indução elétrica na armadura fixa do condensador, que está ligada no terminal *gate* do transistor interno. Esse mesmo transistor amplifica o sinal e alimenta o *drain* (Figura 22) [29].



Figura 22 - Microfone de eletreto

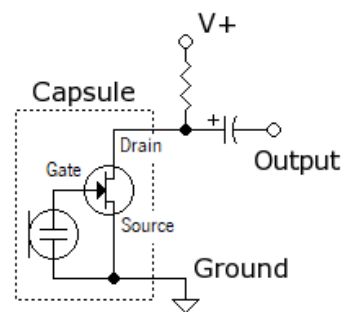


Figura 21 - Circuito interno de um microfone de eletreto [29]

3.2.4 Ponte-H – L293D

O integrado L293D foi desenhado para fornecer correntes bidirecionais até 600mA a tensões desde 4.5V até 36V. Permite conduzir cargas indutivas como relés, solenoides, motores DC e de passo, entre outros [30]. Fundamentalmente, a chamada Ponte-H é constituída por 4 interruptores de contacto e uma fonte de alimentação, em que cada um dos interruptores consegue controlar um motor e o seu sentido de rotação (Figura 23) [31]. Na figura 30 é possível observar o *pinout* do integrado.

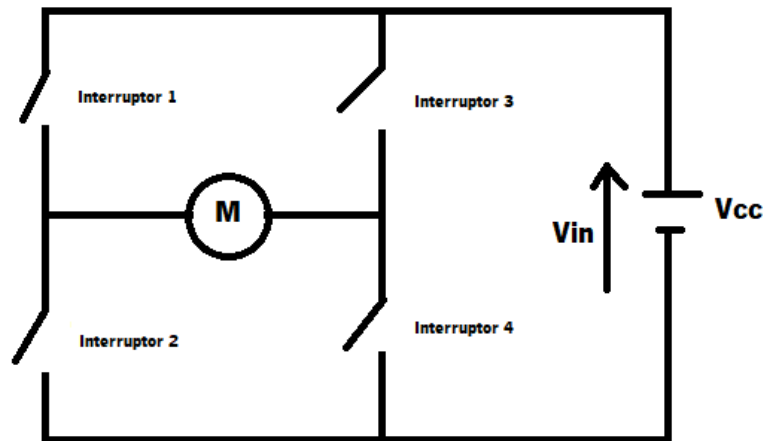


Figura 23 - Esquema da Ponte-H

Tomando como base a Figura 23, é possível determinar o sentido de rotação do motor através do acionamento dos interruptores. Se fecharmos o interruptor 2 e 3, o motor rodará num sentido (Figura 24), mas, se fecharmos o interruptor 1 e 4, rodará no outro (Figura 25).

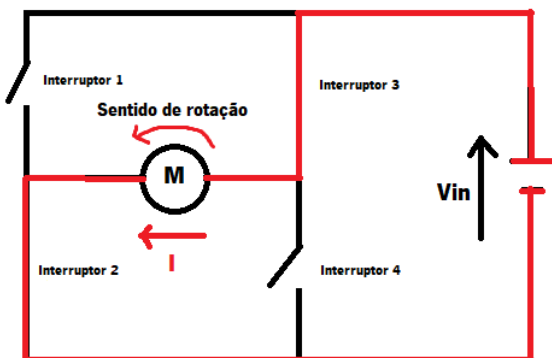


Figura 24 - Acionamento dos interruptores 2 e 3 – rotação do motor no sentido contrário aos ponteiros do relógio

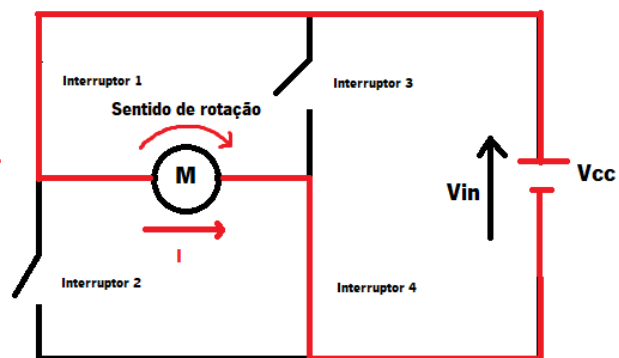


Figura 25 - Acionamento dos interruptores 1 e 4 – rotação do motor no sentido dos ponteiros do relógio

Se se fecharem os interruptores 1 e 3 (Figura 27) ou 2 e 4 (Figura 26), resultará numa travagem instantânea do motor.

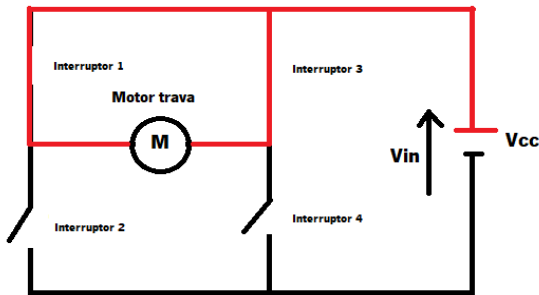


Figura 27 - Acionamento dos interruptores 1 e 3 – travagem

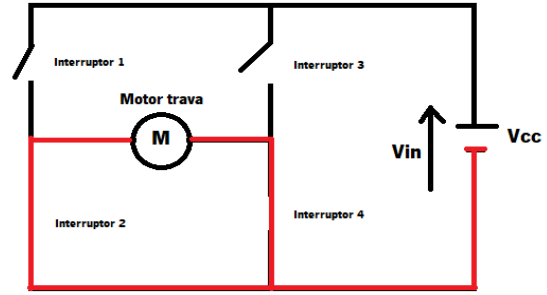


Figura 26 - Acionamento dos interruptores 2 e 4 – travagem instantânea do motor

Como é possível observar, nenhuma destas quatro configurações acima descritas danifica a ponte-h ou outro componente do circuito. Mas, quando os interruptores do mesmo lado estão fechados (interruptores 1 e 2 ou 3 e 4) pode causar um curto-circuito (Figura 29 e 28), permitindo que a corrente passe diretamente do polo positivo ao negativo da fonte de alimentação sem alguma resistência. Isto poderá queimar algum ponto do circuito, como fios ou interruptores.

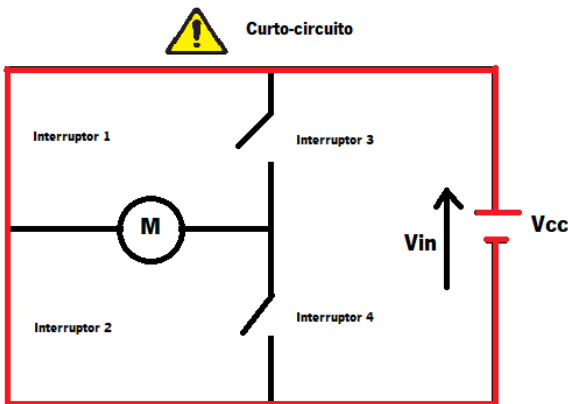


Figura 29 - Acionamento dos interruptores 1 e 2 – curto-circuito

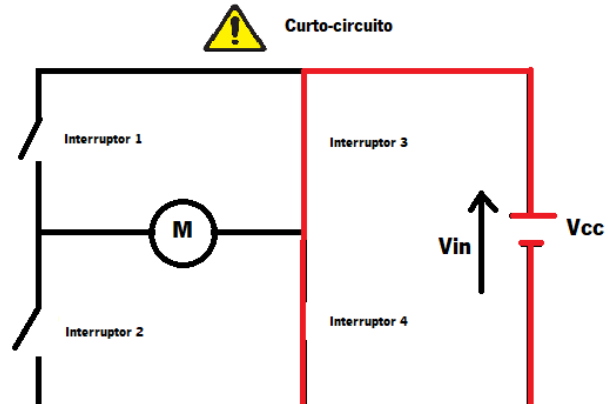


Figura 28 - Acionamento dos interruptores 3 e 4 – curto-circuito

Na tabela 2 são mencionados todos os pinos do L293D juntamente com a descrição de cada um.

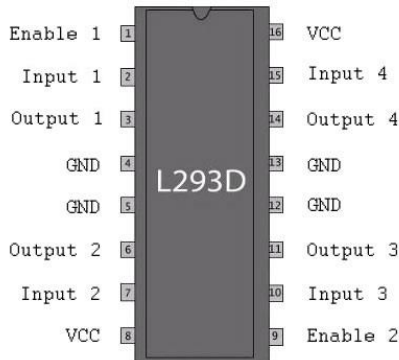


Figura 30 - Pinout do integrado L293D [31]

Tabela 2 - Pinout do integrado L293D

| Número do Pino | Nome | Tipo | Descrição |
|----------------|------------------|-------------|---|
| 1 | Enable 1-2 | Entrada | Quando está a HIGH, ativa os canais 1 e 2 |
| 2, 7, 10, 15 | Entrada 1-4 | Entrada | Entrada de <i>drivers</i> , não inversor |
| 3, 6, 11, 14 | Saída 1-4 | Saída | Saída de <i>drivers</i> |
| 9 | Enable 3-4 | Entrada | Quando está a HIGH, ativa os canais 3 e 4 |
| 4, 5, 12, 13 | GND | Alimentação | Ground |
| 16 | V _{CC1} | Alimentação | Tensão de 5V para circuitos internos |
| 8 | V _{CC2} | Alimentação | Alimentar V _{CC} para cargas de 4.5V a 36V |

3.2.5 Micromotor com caixa redutora – 50RPM

Este micromotor (Figura 31) é ideal para este projeto visto ser bem pequeno (12x10x30mm), leve (13.2g), ter um bom binário (momento de força), e uma velocidade de rotação baixa [32]. Estas duas últimas características devem-se ao facto de o motor ter acoplado uma caixa redutora, que consiste num conjunto de engrenagens que permite aumentar o binário de saída e reduzir a velocidade de rotação.



Figura 31 - Micromotor com caixa redutora [32]

3.3 Firmware para o módulo de reconhecimento de voz

Como já foi dito anteriormente, este módulo pode ser configurado enviando comandos via porta série com recurso ao *software* "AccessPort", que consiste numa ferramenta de monitorização da porta série. A interface do módulo é 5V TTL, daí ter sido preciso usar um conversor *USB-to-TTL* para ser possível ligá-lo ao computador (Figura 32).

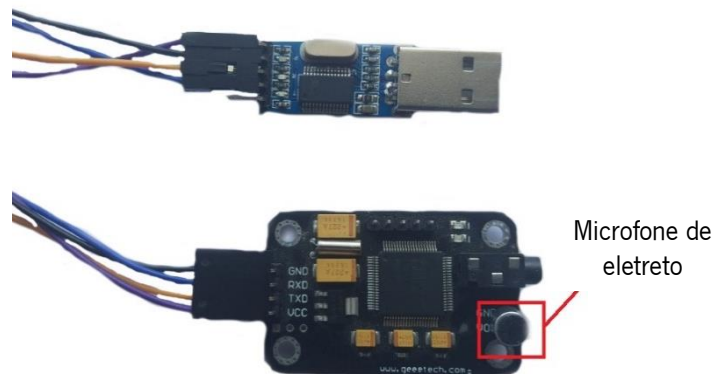


Figura 32 - Conversor USB-to-TTL ligado à interface 5V TTL do módulo de reconhecimento de voz

A figura 33 demonstra o ambiente do *software* "AccessPort" e, antes de programar o módulo, é necessário configurar a porta série (Figura 35), indicando a porta onde está inserido o módulo (*port*), que é possível ver no gestor de dispositivos (Figura 34), a taxa de transmissão (*baud rate*), tal como alguns outros parâmetros.

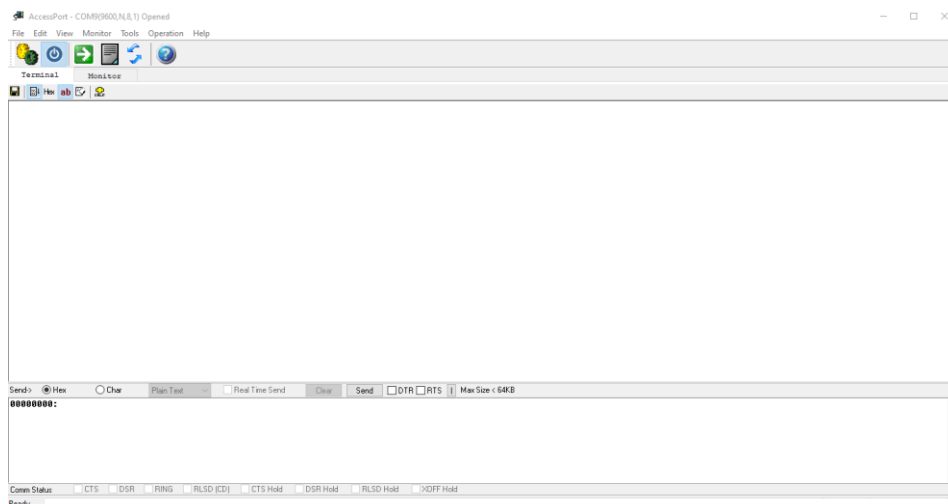


Figura 33 - Ambiente do *software* "AccessPort"

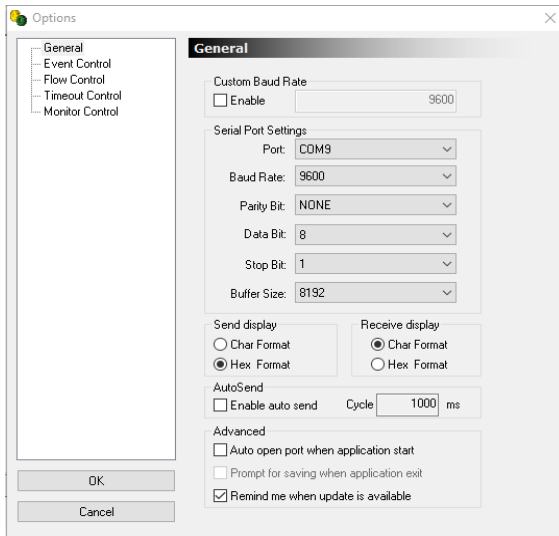


Figura 35 - Configuração da porta série

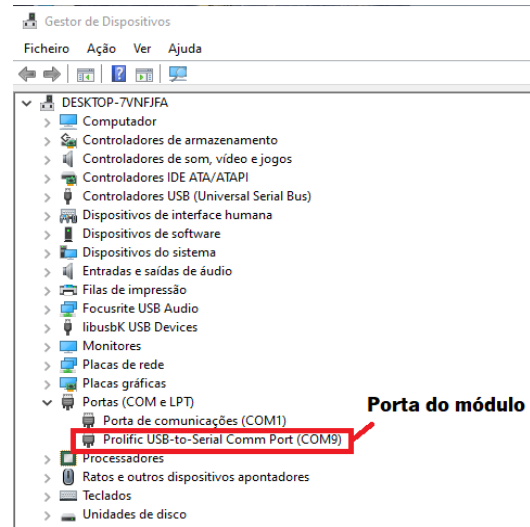


Figura 34 - Gestor de dispositivos

Após terminar a configuração da porta série, segue-se o envio dos comandos. O formato dos comandos a enviar é “AA XX” em que “XX” é o código referente a cada instrução, como é possível ver na tabela do Anexo 1. Inicialmente, é necessário definir o modo de retorno da mensagem. Existe o modo comum e o compacto em que, no primeiro, a mensagem é retornada num *long string*, ou seja, numa palavra, e no segundo é retornada num byte. Se, por exemplo, se enviar o código “AA 01”, no modo comum é retornada a mensagem “Group1 Deleted!”, enquanto que no modo compacto é retornada a mensagem “0xcc”. Neste caso foi selecionado o modo comum com código “AA 36” (Figura 36).

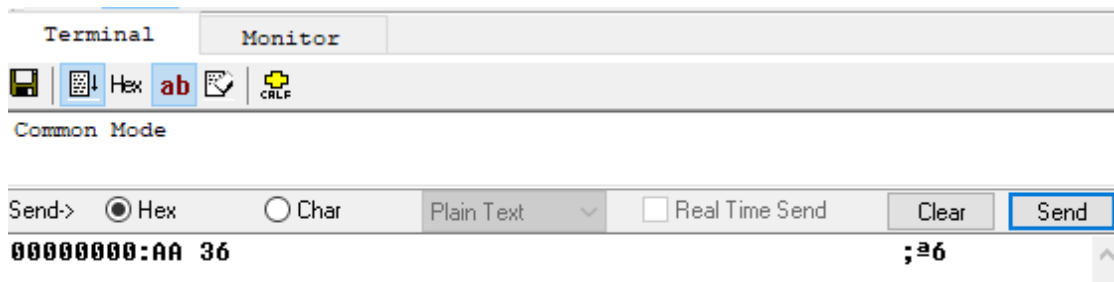


Figura 36 - Selecionar “Modo Comum”

Este módulo é capaz de gravar até 15 comandos de voz divididos em três grupos de cinco comandos. A sua gravação faz-se por grupos, e é necessário gravar os 5 comandos de um grupo seguidos, podendo apenas gravar um ou dois grupos. Caso já tenha um dos grupos preenchidos com instruções de voz, é necessário apagá-los para, então, poder gravar novos comandos. Para isso, é necessário digitar o código “AA 0X”, em que “X” é o grupo que se quer apagar (1,2 ou 3). Neste caso, foi digitado o código “AA 01” com o intuito de apagar o grupo 1. Se a tarefa for realizada com sucesso, aparecerá, no terminal, uma mensagem a confirmá-lo, como se pode ver na Figura 37.



Figura 37 - Apagar um grupo de comandos de voz

Assim, o programa está pronto para gravar os comandos de voz, e, para tal, é preciso digitar o código “AA 1”, em que o “X” é o grupo para o qual se quer gravar os comandos (1, 2 ou 3). Quando se envia esse código, aparece no terminal a palavra “START”, indicando ao utilizador que deve dizer o primeiro comando de voz pretendido. Após o programa receber esse primeiro comando, o terminal exibe uma mensagem que diz “AGAIN; START”, e o utilizador repete a mesma instrução, até que aparece outra mensagem a dizer “Finish one”, que indica que o comando foi guardado. De seguida, o programa “pede” para gravar novamente outro comando, até ter os cinco comandos desse grupo gravados. No final, é exibida no terminal uma mensagem a dizer “Group1 finish”. Na repetição dos comandos, caso o programa detete que este é diferente do dito inicialmente, aparece uma mensagem no terminal a dizer “Different” e recomeça a gravação desse comando. Na Figura 38, é possível observar que foi usado o código “AA 11”, ou seja, foram gravados cinco comandos no grupo 1, sendo eles “Ativar”, “Desligar”, “Fechar”, “Abrir” e “Stop”.

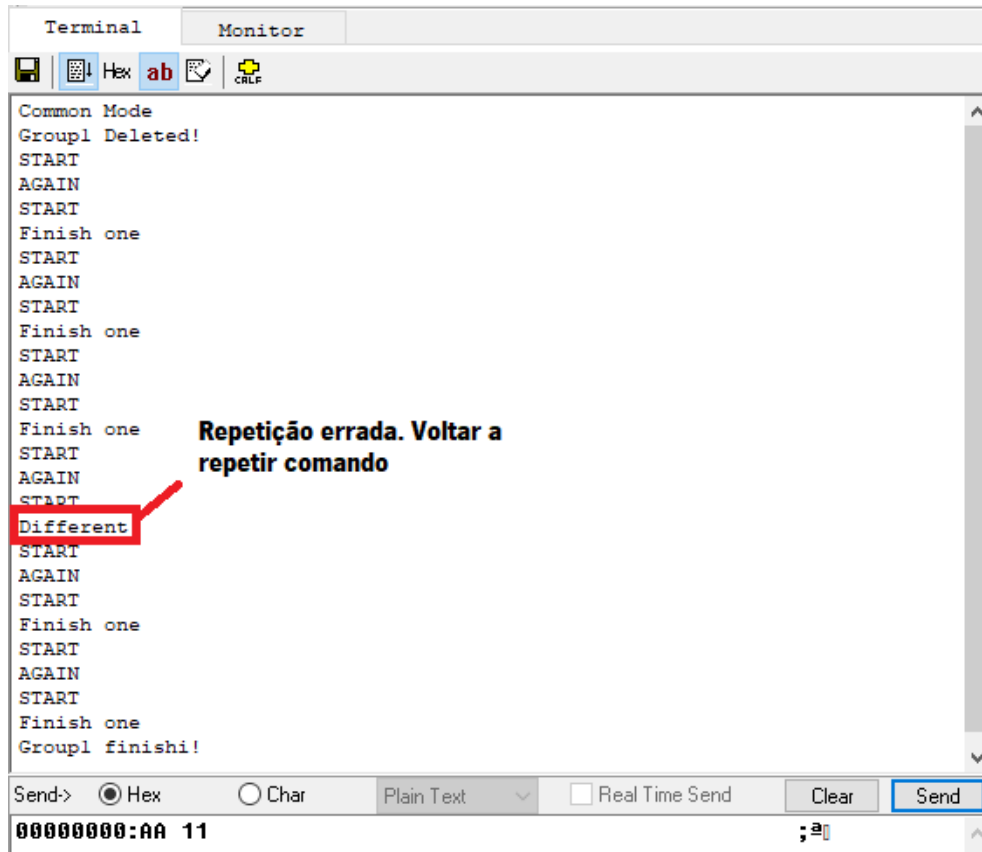


Figura 38 - Gravação dos comandos de voz

Por fim, é necessário importar esse grupo para o módulo, de modo a poder programar cada instrução a realizar uma determinada ação. Para isso, digita-se o código “AA 2X”, sendo que “X” é o grupo que se pretende importar. Neste caso, importou-se o grupo 1 com o código “AA 21”, grupo este que continha os comandos gravados anteriormente (Figura 39).

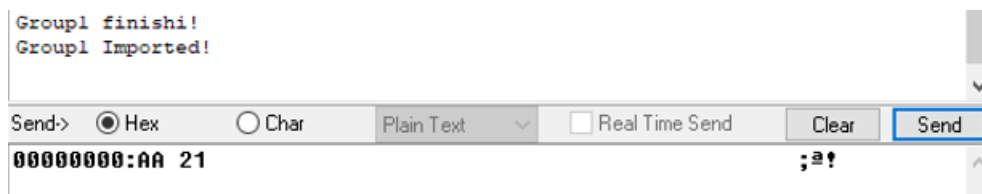


Figura 39 - Importar um grupo

Ainda com o programa aberto, é possível perceber se os comandos foram bem gravados. Para isto, basta dizer o comando e aparecerá, no terminal, a mensagem “Result: XY”, em que o “X” será o número do grupo desse comando e o “Y” a posição do comando desse mesmo grupo (Figura 40).

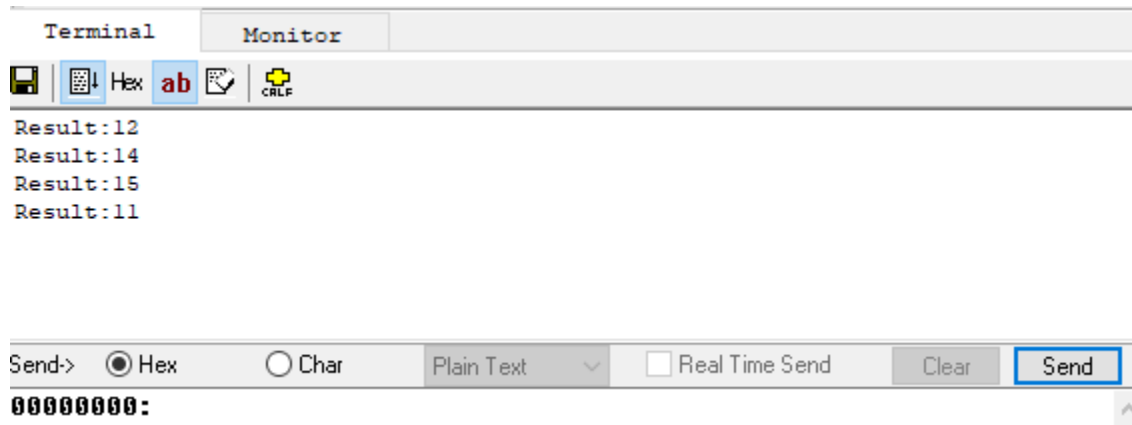


Figura 40 - Confirmação dos comandos

3.4 Implementação dos comandos de voz no Arduino IDE

Após gravar todos os comandos de voz necessários para o projeto, está na altura de implementá-los no Arduino, recorrendo ao seu *software* Arduino IDE. O objetivo é associar cada comando de voz a uma ação. Como já foi referido anteriormente, foram gravados cinco comandos: “Ativar”, “Desligar”, “Fechar”, “Abrir” e “Stop”. O comando “Ativar” apenas serve para o utilizador poder começar a usar a luva. Isto porque, se a pessoa não estiver a utilizar as funções da luva pode, acidentalmente, dizer um comando de voz que faça acionar a luva. Por isso, apenas se pode usar os outros comandos de voz depois de “ativar” a luva, para que se evite esses acidentes. Acende, ainda, um LED no arduino para ser possível saber se a luva está, ou não, ativa. Caso a pessoa esteja a utilizar as funções da luva e queira parar de o fazer, basta dizer “Desligar”, e a luva volta ao estado de “stand-by” e desliga o LED, esperando que o comando “Ativar” seja dito. O comando “Fechar” e “Abrir”, tal como o próprio nome indica, serve para acionar o motor, de modo a este puxar ou soltar o fio, fechando ou abrindo a mão. Como os movimentos da luva são de curta duração (três segundos

aproximadamente), o comando “Stop” não foi programado, visto não necessitar de interrupções de emergência.

Inicialmente, no Arduino IDE, é necessário selecionar o arduino que se está a utilizar, tal como a porta em que a placa se encontra (ver novamente no gestor de dispositivos). Neste caso, selecionou-se o Arduino Nano e a COM3 (Figura 41).

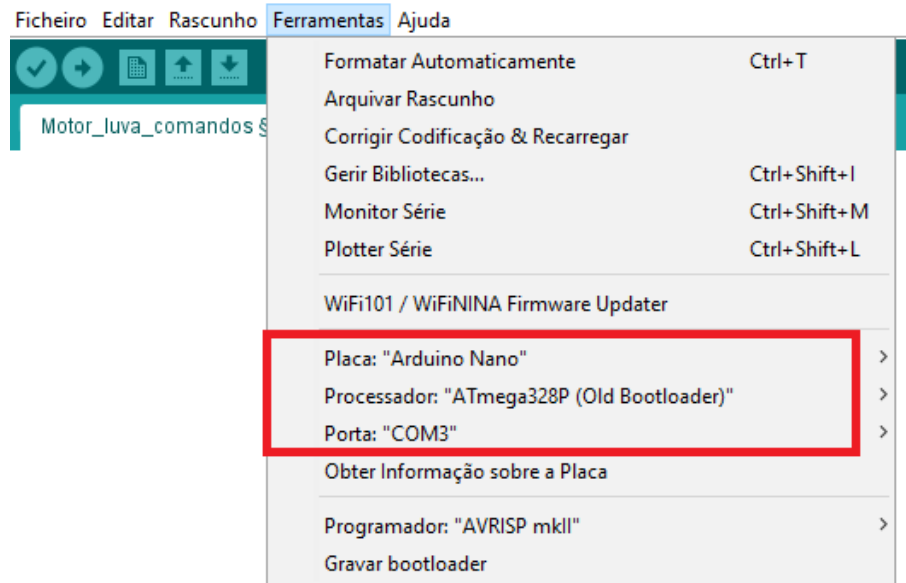


Figura 41 - Configuração do Arduino IDE

Depois, é necessário configurar o programa com a função “*setup*”. Isto inclui inicializar variáveis, definir os pinos de entrada e saída, e para o caso da utilização do módulo de reconhecimento de voz, escrever algumas instruções para a porta série.

Primeiro define-se as variáveis globais que serão três: uma do tipo *byte* e duas do tipo inteiro (Secção 1 da Figura 42). A primeira, do tipo *byte*, será usada para receber os comandos de voz. As outras duas, do tipo inteiro, serão para definir estados. Quando a variável “on” está a zero, significa que o sistema está em “*stand-by*”, e quando está a 1 está ativo. Quando a variável “*mao_fechada*” está a zero, significa que a mão está aberta, e quando está a 1, a mão está fechada. De seguida, define-se a taxa de transmissão (*baud rate*) para os 9600, que é o valor máximo de funcionamento do módulo (Secção 2 da Figura 42), e os pinos de entrada e saída. Neste caso, apenas se necessita de

pinos de saída. Foram usados dois pinos (7 e 8) para controlar o motor e um (13) para ativar o LED do arduino (Secção 3 da Figura 42). De seguida, inicializam-se as variáveis

Para terminar a configuração, e como está a ser utilizado o módulo de reconhecimento de voz, é necessário importar para o programa os comandos de voz gravados. Para isso, é necessário seleccionar o modo compacto, para ler em bytes, e importar os comandos de voz do grupo 1, tudo isto através da porta série (Secção 4 da Figura 42). Esta configuração é executada no início uma única vez durante o programa.

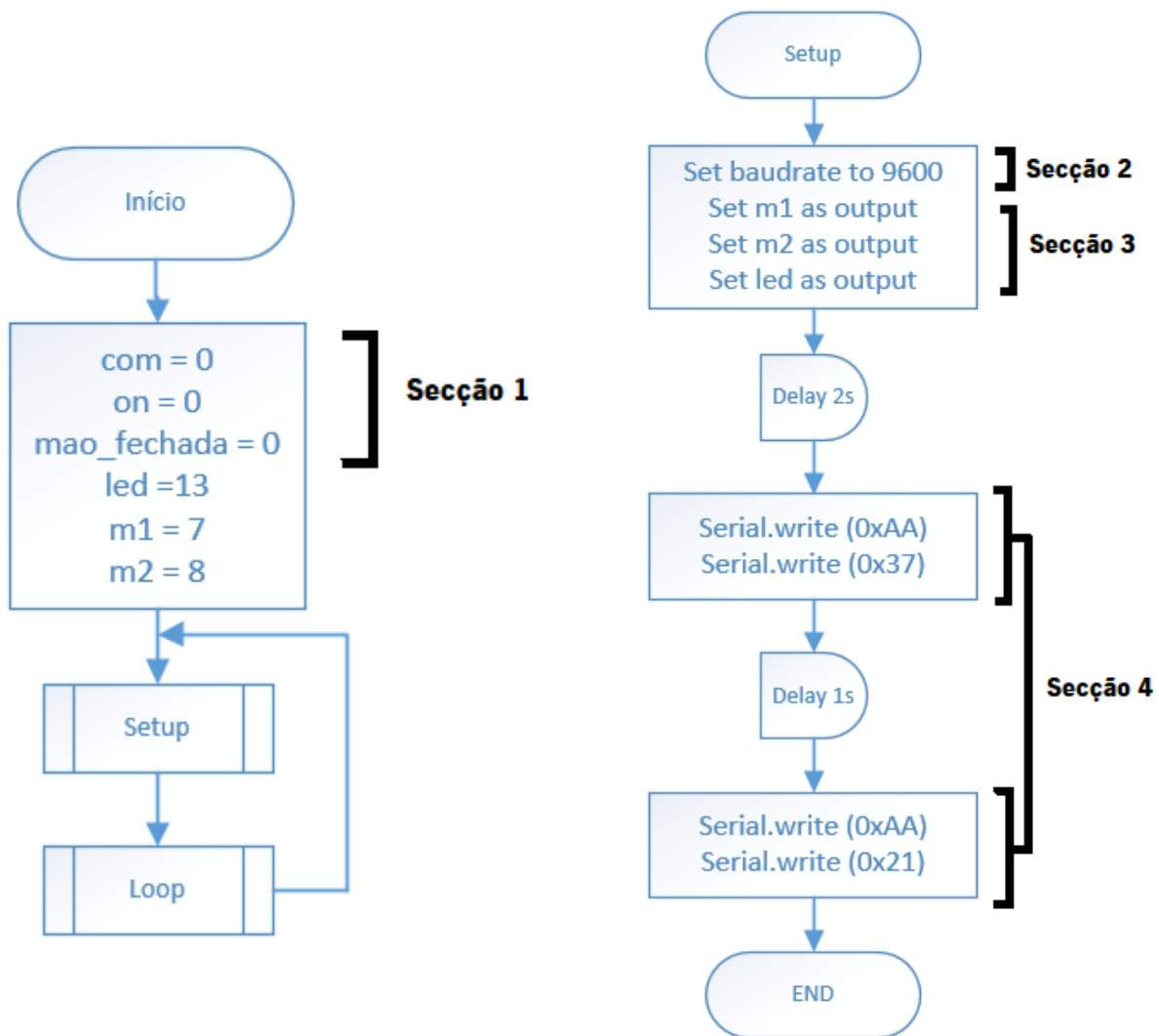


Figura 42 - Fluxograma - setup do programa

De seguida, é criada a função “*loop*” que corre consecutivamente e, é aqui, que serão dadas instruções de ação para os comandos de voz.

Primeiro, é necessário verificar se existe comunicação com a porta série que, neste caso, são os comandos de voz proferidos pelo utilizador e, caso haja, a variável “com” assume esses comandos que vêm em bytes, um de cada vez (Secção 5 da Figura 43). Caso esteja no grupo importado anteriormente, o programa desempenha as ações descritas para esse mesmo comando. Entrando em detalhe:

- “com” assume valor “0x11” (comando “Ativar”) – acende-se o LED do arduino (Secção 6 da Figura 44).
- “com” assume valor “0x12” (comando “Desligar”) - é necessário saber se a luva está ativa e se a mão se encontra aberta ou fechada e, para isso, recorre-se às variáveis “on” e “mao_fechada”. Caso a luva esteja ativa e a mão esteja fechada, os motores são acionados durante 2,5 segundos na direção dos ponteiros do relógio de modo a soltar os fios e, conseqüentemente, abrir a mão. É, também, desligado o LED (Secção 7 da Figura 44).
- “com” assume valor “0x13” (comando “Fechar”) – se a luva estiver ativa e a mão aberta, o motor roda durante 3 segundos no sentido inverso aos ponteiros do relógio, puxando, assim, os fios e fechando a mão (Secção 8 da Figura 45).
- “com” assume valor “0x14” (comando “Abrir”) – se a luva estiver ativa e a mão fechada, o motor roda durante 2,5 segundos no sentido dos ponteiros do relógio, soltando os fios e, conseqüentemente, fechando a mão (Secção 9 da Figura 45). A razão pela qual o tempo de rotação do motor neste comando é 0,5 segundos inferior ao comando anterior, é o facto de o movimento de deflexão dos dedos oferecer maior resistência ao motor, fazendo-o rodar ligeiramente mais devagar.

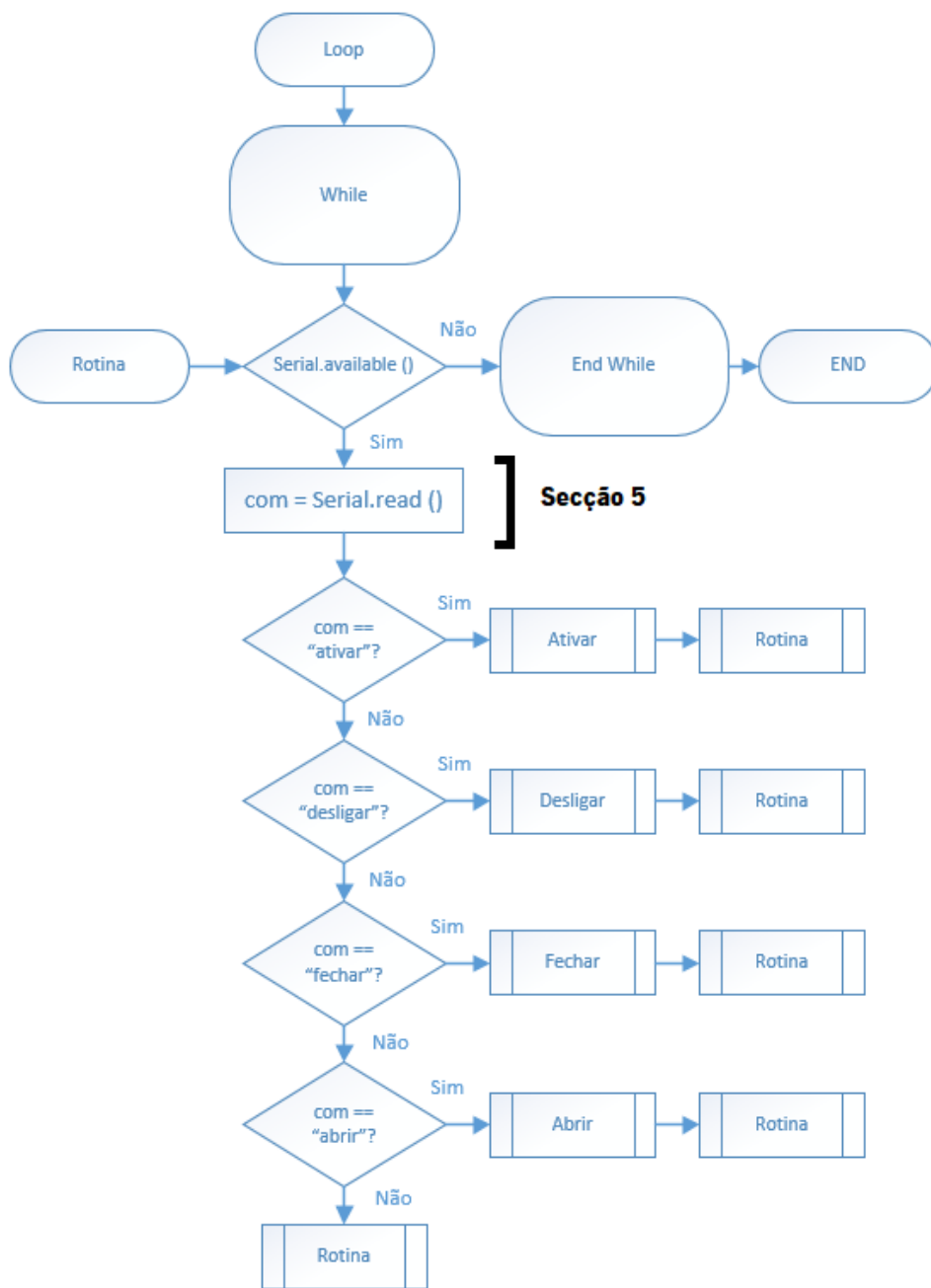


Figura 43 - Fluxograma - função Loop do programa

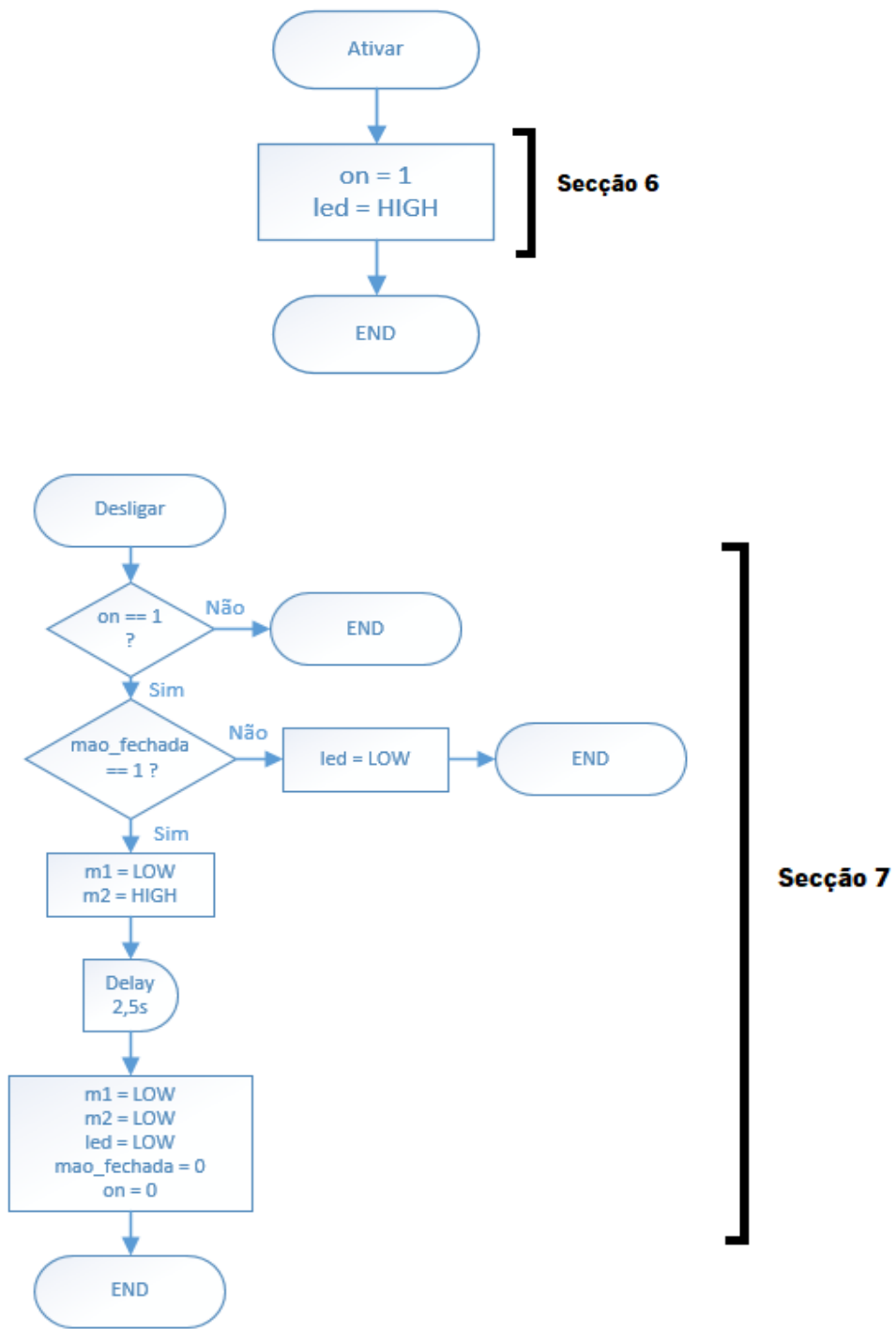


Figura 44 - Fluxograma - implementação dos comandos "ativar" e "desligar"

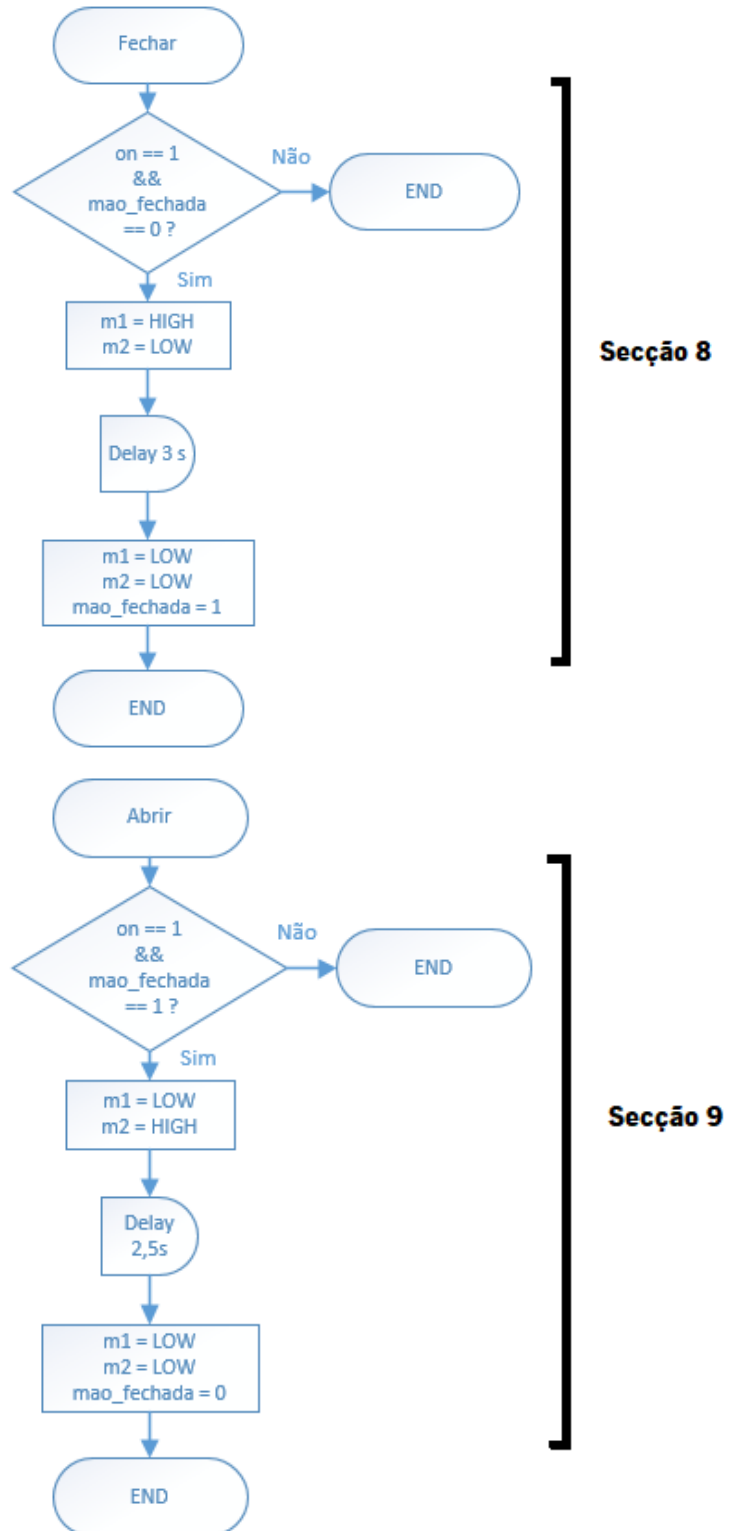


Figura 45 - Fluxograma - implementação dos comandos "fechar" e "abrir"

3.5 Luva

O material escolhido para a luva foi o neopreno (Figura 45), devido à sua resistência e elasticidade. Este material força a mão a estar sempre esticada, o que permite, quando a mão está fechada, voltar automaticamente ao estado inicial quando o motor solta o fio. Para dobrar os dedos, foi necessário furar certos sítios da luva com um alicate de furo (Figura 46) e colocar ilhós, de modo a colocar o fio para ser puxado pelo motor (Figura 48).



Figura 46 - Luva de neopreno



Figura 47 - Alicates de furo



Figura 48 - Alicates para colocar ilhós



Figura 49 - Luva com ilhós e fio

3.6 Atuador

Para acionar o movimento da luva, recorreu-se a um micromotor com caixa redutora com rotação máxima de 50 RPM. Era necessário um motor que tivesse uma velocidade de rotação baixa, mas com bastante binário, de modo a ter força suficiente para puxar os dedos da pessoa. Para realizar esse movimento, utilizou-se um fio de costura (Figura 50), barato e muito resistente, enrolado à volta da ponta dos dedos e atravessado pelo comprimento da luva até chegar ao motor, tal como demonstrado na Figura 49. Após alguns testes, foi possível observar que este motor não tinha força para puxar os quatro dedos (indicador, médio, anelar e mínimo), daí optar-se por dobrar apenas o indicador e o médio, sendo suficiente para agarrar um objeto. Para o motor conseguir puxar o fio, foi necessário acoplar ao veio do motor parte de um parafuso. Fez-se um furo na extremidade do parafuso e, com supercola, colou-se o veio do motor ao parafuso (Figura 51). De seguida, foi necessário fazer um furo transversal ao parafuso, para ser possível passar o fio de costura e enchê-lo com cola quente para prender o fio (Figura 52).



Figura 51 - Fio de costura



Figura 50 - Disposição do fio dos dedos até ao motor



Figura 52 - Encaixe do veio do motor no parafuso



Figura 53 - Inserção do fio no parafuso

Para ser possível rodar o motor nos dois sentidos, foi necessário ligá-lo a um componente que permitisse conduzir corrente nos dois sentidos. Optou-se pelo integrado L293D que se baseia numa simples ponte-H. Como foi explicado anteriormente, através dos 4 interruptores inseridos no integrado, é possível escolher o sentido da corrente, podendo assim, obter o sentido de rotação desejado para o motor. Como é necessário apenas um motor, apenas se usa dois canais do integrado (Figura 53). O pino 8 (Vcc2) será alimentado com 9V vindos da bateria usada para alimentar todos os componentes deste projeto, como o arduino e o módulo de reconhecimento de voz, além da ponte-H. Os 5V do pino 1 e 16 (EN 1,2 e Vcc1, respetivamente) serão alimentados pelos 5V provenientes do arduino.

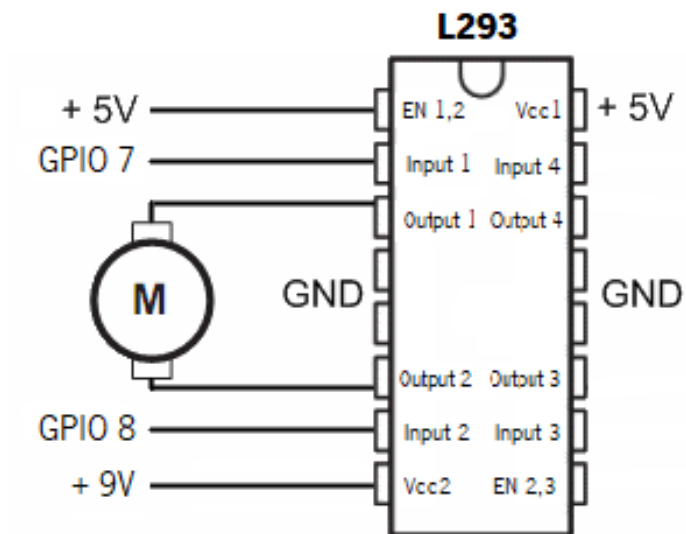


Figura 54 - Ligação entre ponte-H com arduino e motor

3.7 Caixa para o motor

Para o motor não ficar à vista, desenhou-se uma caixa em CAD no *software* “SketchUp” (Figura 54). Dentro da caixa é possível observar uma superfície retangular, para pousar o motor, e um cilindro com um buraco no meio para inserir o parafuso, de modo a não balançar na caixa quando está em movimento. A tampa desliza perfeitamente pelas entradas no topo da caixa, protegendo o utilizador de qualquer perigo.

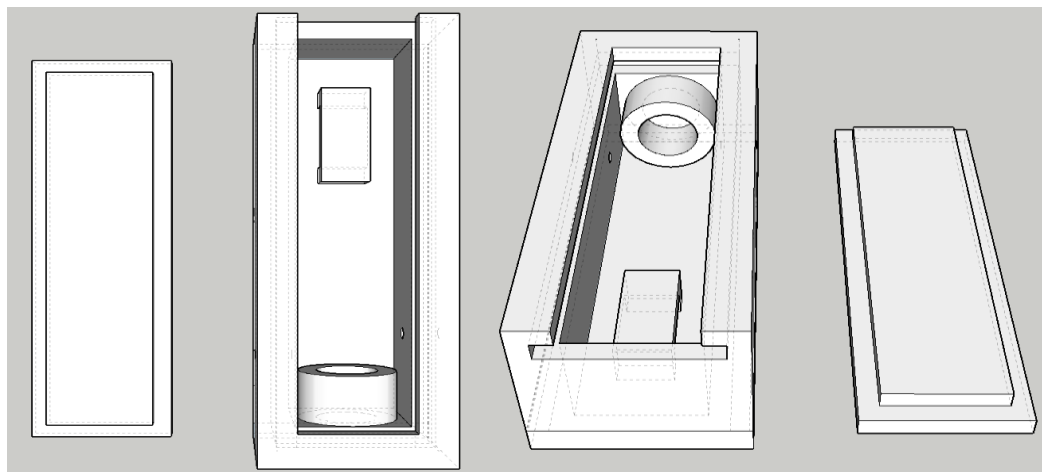


Figura 55 - Desenho em CAD da caixa para o motor



Figura 56 - Caixa para o motor impressa em 3D



Figura 57 - Motor posicionado dentro da caixa

3.8 Montagem do circuito

Para o funcionamento do circuito do sistema, foi utilizada uma bateria de 9V para alimentar o arduino nano, colocando o pólo positivo da pilha no pino Vin e o negativo no GND. Os pinos D7 e D8 servem para ligar aos pinos de entrada (2 e 7) do integrado L293D, de modo a colocar o motor em funcionamento. Ainda no arduino, os pinos TX e RX ligam-se ao Rx e Tx do módulo de reconhecimento de voz, respetivamente. Neste módulo, o Vcc e o GND ligam-se aos 5V e ao GND do arduino, respetivamente. No integrado, o pino 1 e 16 ligam-se, também, aos 5V do arduino e o pino 8 aos 9V provenientes da bateria. Os dois pinos GND ligam-se ao GND do arduino e, por fim, os pinos de saída do integrado (3 e 6) ligam aos terminais do motor (Figura 57).

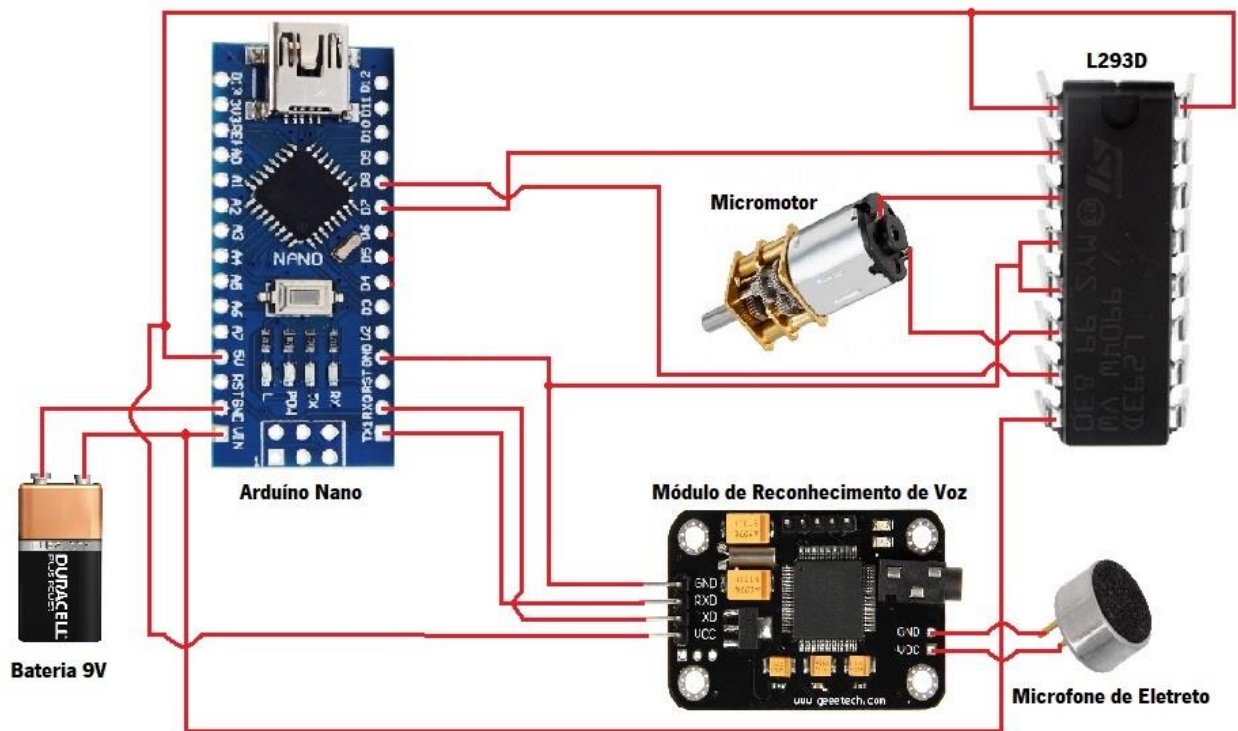


Figura 58 – Montagem do circuito do sistema

3.9 Protótipo final

Na Figura 58 é possível observar o protótipo da luva com todos os componentes acoplados e interligados entre si, como demonstra o circuito da Figura 57.

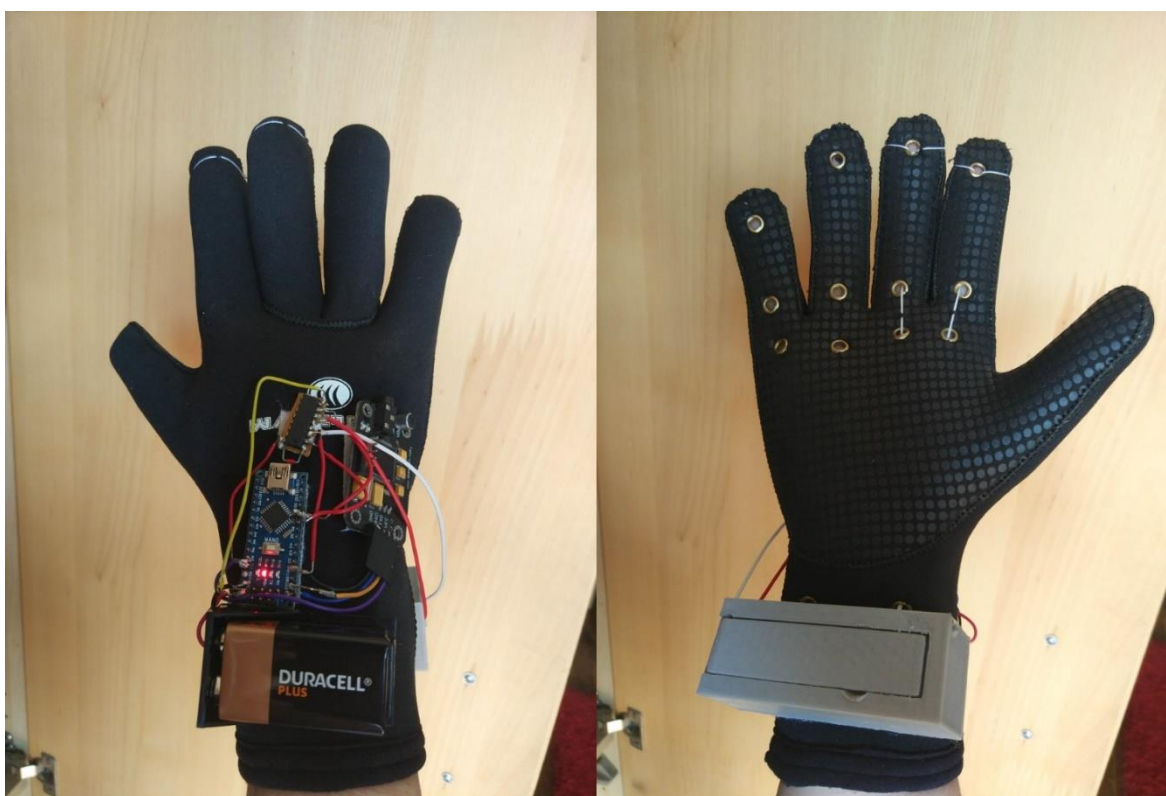


Figura 59 - Protótipo final

Como já seria de esperar, existem certos aspetos a melhorar, como a organização dos componentes e um suporte diferente para o motor, visto que este é um pouco grande e desconfortável. O uso de uma tala para o polegar (Figura 59) juntamente com dois dedos de luva, seria, também uma ótima opção para o desenvolvimento deste protótipo, visto que a tala imobilizaria o polegar numa certa posição de modo a não atrapalhar os outros dedos quando fecham [33].

Neste caso, são programados três segundos para a mão fechar e 2,5 segundos para abrir, isto porque, quando fecha, os dedos oferecem resistência à rotação do motor, o que faz com que rode ligeiramente mais devagar, precisando de mais tempo a fechar do que a abrir. Claramente, esta solução não é muito viável, mas, uma boa solução, seria o uso de extensômetros (Figura 60). Estes colocam-se por cima dos dedos e permitem medir a deformação mecânica que o dedo oferece ao sensor quando o dobra, retornando um valor [34]. Com esse valor, seria possível parar os dedos na posição que se desejasse, de modo a conseguir fechar e abrir completamente a mão.



Figura 60 - Tala para polegar [33]

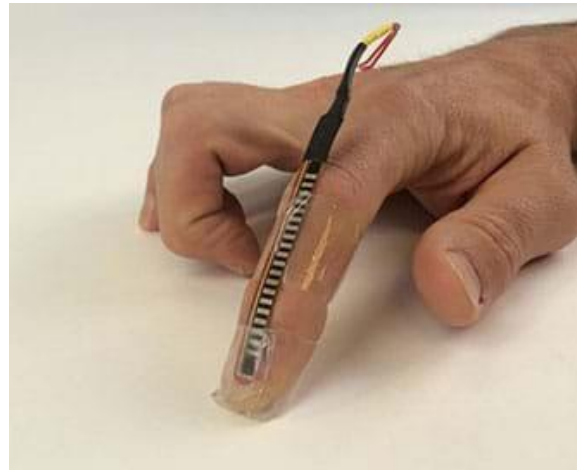


Figura 61 - Extensômetro [34]

Como já foi referido anteriormente, com a utilização de comandos de voz para atuar a luva, é possível usar duas luvas, uma em cada mão, visto não ser necessário a outra mão para clicar em botões. Para isto, teria de se programar novos comandos de voz para não realizar as ações nas duas luvas em simultâneo. Poder-se-ia gravar comandos diferentes para cada luva, mas existe uma solução melhor. Os comandos poderiam manter-se os mesmos para as duas luvas, apenas seria necessário especificar qual das luvas, direita ou esquerda, é que se queria atuar. Para isso, em vez de utilizar o comando “Ativar”, poder-se-ia usar o comando “Esquerda”, “Direita” ou “Ambas” conforme a luva que se quisesse usar, podendo ativar as duas com o terceiro comando caso o utilizador queira agarrar dois objetos ao mesmo tempo, um com cada mão, por exemplo. O comando “Desligar” desligaria a luva ou luvas que estivessem ativas.

A tabela 3 apresenta os preços de cada componente adquirido para o desenvolvimento do projeto e o respetivo fornecedor, indicando, no final, o preço total do protótipo.

| Componente | Fornecedor | Preço |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| Módulo de reconhecimento de voz | Banggood | 18,58 € |
| Arduíno nano | Botnroll | 9,30 € |
| Bateria de 9V | Aquário | 3,89 € |
| Caixa para bateria de 9V | Aquário | 0,50 € |
| L293D | Aquário | 3,65 € |
| Micromotor com caixa redutora 50 RPM | Botnroll | 10,90 € |
| Microfone de eletreto | Aquário | 1,60 € |
| Fio de costura | Retrosaria Casa Rainha | 1,50 € |
| Luva de neopreno | Tobogã - Portugal Adventure Tours | 16,00 € |
| | | Total: 65,92€ |

Tabela 3 - Preço dos componentes

Capítulo 4 – Diferentes metodologias

Inicialmente, antes de enveredar pelo método escolhido para o desenvolvimento deste projeto, existiram dois métodos diferentes que se pensava serem capazes de funcionar, um deles que seria a utilização de fios de nylon revestidos a um metal, e outro que consistia em usar polímeros eletroativos iônicos.

4.1 Fios de nylon revestidos a metal

Este primeiro método utiliza fios de nylon, como os fios de pesca, revestidos a metal (prata, por exemplo) torcidos e inseridos em borracha de silicone. O nylon é um polímero termoplástico que, quando é torcido até obter uma espécie de bobina e aquecido, encolhe. O revestimento a prata serve para ser possível aquecer o fio com recurso a uma corrente elétrica. Envolvendo o nylon torcido em borracha de silicone, quando o fio é aquecido, este tende a dobrar quando encolhe, visto estar “preso” no silicone.

Para fazer um enrolamento com o fio de nylon, é necessário um suporte universal com garra, um motor, uns pesos e dois clips. É necessário fazer um furo no veio do motor, de modo a conseguir passar o clip que terá o fio de nylon preso. De seguida, coloca-se o motor na garra do suporte virado para baixo, passa-se o clip pelo furo e o fio pelo clip, ficando dois comprimentos do mesmo pendurados (cada um deverá ter aproximadamente 0,4 cm) e atravessam-se as duas pontas pelo outro clip, dando-se um nó. Por fim, amarra-se uns pesos a esse segundo clip para fazer tensão. Antes de ligar o motor é necessário prender os pesos (com as mãos ou outro meio qualquer) de modo a estes não rodarem. Ligando o motor, passado pouco tempo, será possível observar a formação de enrolamentos no topo ou no fundo do fio. Quando se tiver o tamanho necessário de fio enrolado, desliga-se o motor, sempre segurando os pesos. Caso se largue, o fio irá desenrolar, voltando ao estado inicial. De seguida, pega-se pelos dois clips, mantendo sempre tensão para o fio não desenrolar e coloca-se numa tábua com dois parafusos com distância entre eles igual ao comprimento do fio, encaixando cada clip num parafuso (Figura 61) [35]. Leva-se essa tábua ao forno a 180°C durante uma hora, de modo a enrijecer o fio, fixando o enrolamento.



Figura 62 - Colocação do enrolamento sob tensão [35]

Após essa etapa concluída, é necessário colocar borracha de silicone num molde (como o da Figura 63, por exemplo), e, de seguida, mergulhar o enrolamento no mesmo (Para este molde seriam necessários dois enrolamentos). Após deixar secar, obtém-se o músculo artificial desejado e, quando é aplicada uma corrente nas pontas dos fios, o atuador dobra. (Figura 62) [36].



Figura 64 - Molde + atuador [36]



Figura 63 - Testes com atuador [36]

Foram realizados alguns testes de fabricação deste atuador, mas todos sem sucesso. O problema deverá ter estado nos próprios fios adquiridos, que não seriam os mais apropriados para o efeito. Porém, após alguma pesquisa de atuadores semelhantes já desenvolvidos, crê-se que a força com que dobra, não seria suficiente para dobrar o dedo de uma pessoa. Além disso, não convém que atuador aqueça durante demasiado tempo, pois pode sobreaquecer e derreter. Seria complicado o seu uso na luva quando tivesse de fechar os dedos porque, desligando a corrente elétrica, o atuador voltaria ao estado inicial. Para manter a mão fechada, seria necessário o uso contínuo de corrente elétrica, o que poderia levar a um sobreaquecimento. Infelizmente, não foi possível concluir o desenvolvimento desse atuador para ser possível realizar esses testes. Entretanto, decidiu-se enveredar por outro método: os polímeros eletroativos iónicos.

4.2 Polímeros eletroativos iónicos

Este atuador consiste numa membrana fina de polímero eletroativo iónico que é produzida através da mistura de algumas substâncias, nomeadamente, um polímero, um solvente e um líquido iónico.

Para o desenvolvimento desta membrana, foi necessário trabalhar num laboratório de química na Universidade do Minho, isto porque experiências com substâncias químicas são aconselhadas a fazer em ambientes próprios para o efeito e bem ventilados, como são os laboratórios. Utilizou-se o polímero PVDF (poly(vinylidene fluoride)) e o solvente DMF (dimetilformamida) em percentagens de 15%/85%, respetivamente, que resulta de 6 ml de DMF para um grama de PVDF. Estas percentagens foram utilizadas com base no artigo [23] que, após estudos com diferentes percentagens, esta fórmula foi a que obteve melhores resultados. Inicialmente, desenvolveram-se duas amostras com 0,5 g de PVDF e 3 ml de DMF cada, mas com percentagens diferentes de líquido iónico (42,13% e 26,52%). Este líquido é o que dá ao polímero propriedades iónicas, de modo a este conseguir dobrar. O líquido utilizado, também com melhores resultados no artigo [23], foi o $[N_{2113OH}][TFSI]$.

Material utilizado:

- PVDF;
- DMF;
- Líquido iónico
- 2 gobelés (25ml) para medir 0,5g de PVDF em cada um;
- 1 espátula;
- 1 balança de precisão (Mettler AT261 Delta Range);
- 2 placas de Petri;
- 1 agitador (Heidolph MR2002);
- 1 pipeta para medir 3ml de DMF;
- 2 agitadores magnéticos;
- Parafilm;
- 1 pipeta de Pasteur para medir o líquido iónico.

Processo de preparação da membrana:

1. Pesar na balança de precisão 0,5 g de PVDF em dois gobelés com ajuda da espátula;
2. Com a ajuda da pipeta, colocar 3 ml de DMF em cada gobelé;
3. Colocar um agitador magnético em cada um, tapá-los com parafilm para não evaporar e colocá-los no agitador até dissolver tudo;
4. Após a dissolução, colocar o gobelé na balança, tarar, colocar o líquido iónico e apontar o peso;
5. Colocar novamente no agitador e, após o líquido iónico estar dissolvido, derramar a solução numa placa de vidro.
6. Deixar secar pelo menos 24h.
7. Após as 24h, será possível observar uma membrana transparente.

Após o desenvolvimento da membrana, é importante medir a sua resistividade para se conseguir obter o valor da condutividade do material porque se esse valor for muito baixo, a membrana poderá não dobrar. Para isso, é necessário cortar uma amostra pequena e redonda da membrana,

colocá-la entre dois elétrodos de ouro após medir cada um deles e , de seguida, pô-la no forno BUCHI TO-51. Aquecê-lo a 70°C - 80°C de modo a unir os elétrodos com a amostra e, só depois, realizar as medições. Com recurso ao *software* NOVA, é possível obter gráficos de resistividade e diagramas de bode. Retirando o valor médio da resistividade, é possível, através da equação 1, retirar o valor da condutividade, em que R_{ep} é a resistividade, δ a condutividade, d_{ep} a espessura da amostra (sem os elétrodos) e A_{ep} a área da amostra.

$$R_{ep} = \frac{1}{\delta} \cdot \frac{d_{ep}}{A_{ep}} \quad (1)$$

Para a membrana dobrar, é necessário revesti-la com um metal, de modo a torná-la condutora. Normalmente, utiliza-se o ouro, visto ser um excelente condutor elétrico. Após o depósito do ouro, fazendo atravessar uma corrente na membrana, esta dobrará. Essa resposta poderá variar dependendo do líquido iónico usado e respetivas percentagens.

Devido ao aparecimento do Covid-19, e ao conseqüente encerramento de todos os estabelecimentos de ensino, incluindo a Universidade do Minho, não foi impossível trabalhar nos laboratórios de Química, realizar mais experiências com os polímeros e analisar os respetivos resultados de condutividade. Sendo o período de encerramento uma incógnita, foi necessário enveredar por outro método.

Através das membranas desenvolvidas no laboratório, instala-se a dúvida de que tenha força suficiente para dobrar o dedo de uma pessoa, visto que são muito finas (não convém desenvolvê-las muito grossas) e frágeis. Existe a possibilidade de desenvolver membranas com duas ou mais camadas de solução, separadas pelo depósito de ouro, que poderão, eventualmente, exercer mais força sobre o dedo.

Capítulo 5 – Testes e resultados

Neste capítulo serão apresentados os testes realizados no desenvolvimento deste projeto, os resultados obtidos e o que pode ser feito para melhorar esses resultados.

A primeira tarefa foi a programação do módulo de reconhecimento de voz juntamente com o arduino. Após a gravação dos comandos de voz, decidiu-se testá-los recorrendo a LED's. Com o comando "Ativar", acendia-se um LED azul (Figura 64); com o comando "Abrir" acendiam dois LED'S azuis, mantendo o outro ligado (Figura 65); com o comando "Fechar", apagavam-se esses dois LED's azuis (Figura 66); e com o comando "Desligar", apagavam-se os LED's azuis todos (Figura 67).

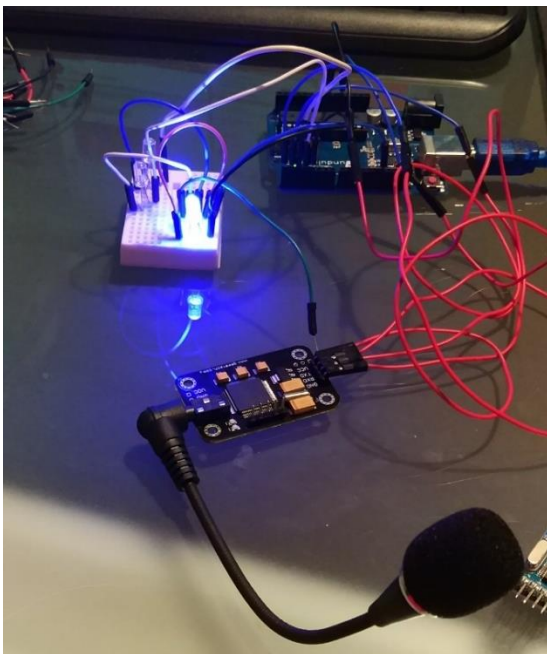


Figura 65 - Comando "Ativar"

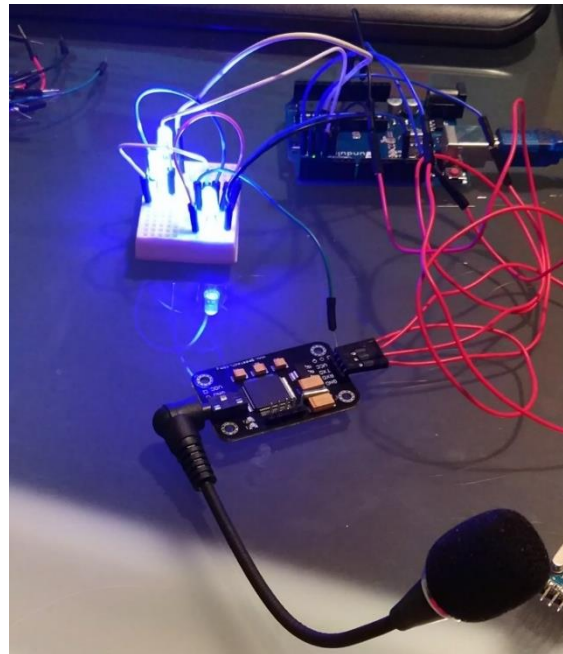


Figura 66 - Comando "Abrir"

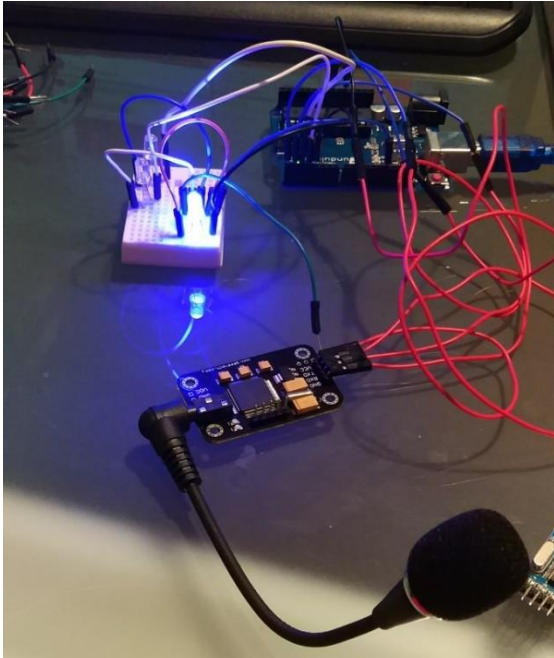


Figura 67 - Comando "Fechar"

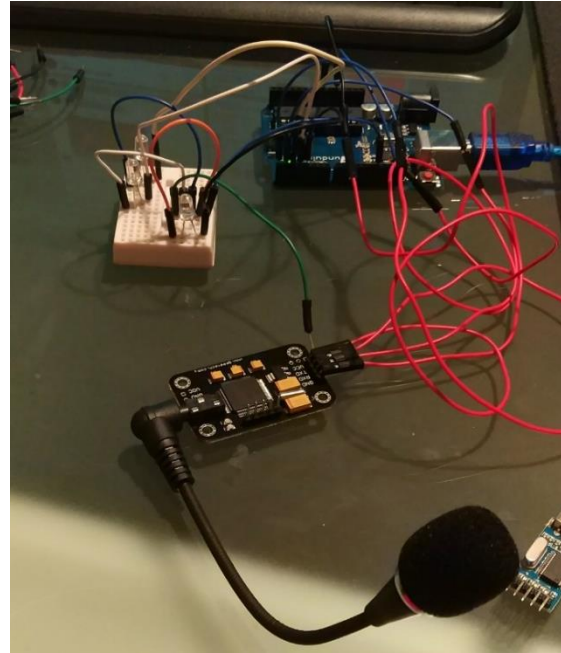


Figura 68 - Comando "Desligar"

Além desta experiência, foi possível também testar o correto funcionamento dos comandos de voz através do próprio *software* do módulo, o "AccessPort". Após a gravação das instruções, é possível perceber se foram bem registradas pelo microfone e programa. Para isso, basta dizer as instruções e aparecerá no terminal série do programa a seguinte mensagem: "Result: XY", em que "X" é o número do grupo onde essa instrução está gravada e "Y" é a posição desse comando no grupo. Caso o utilizador diga uma palavra que não foi gravada, simplesmente não aparece nenhuma mensagem. Na Figura 68 observa-se que foram ditas as instruções "Desligar" (Result: 12), "Fechar" (Result:14), "Stop" (Result: 15) e "Ativar" (Result: 11), confirmando, assim, estar tudo a funcionar corretamente.

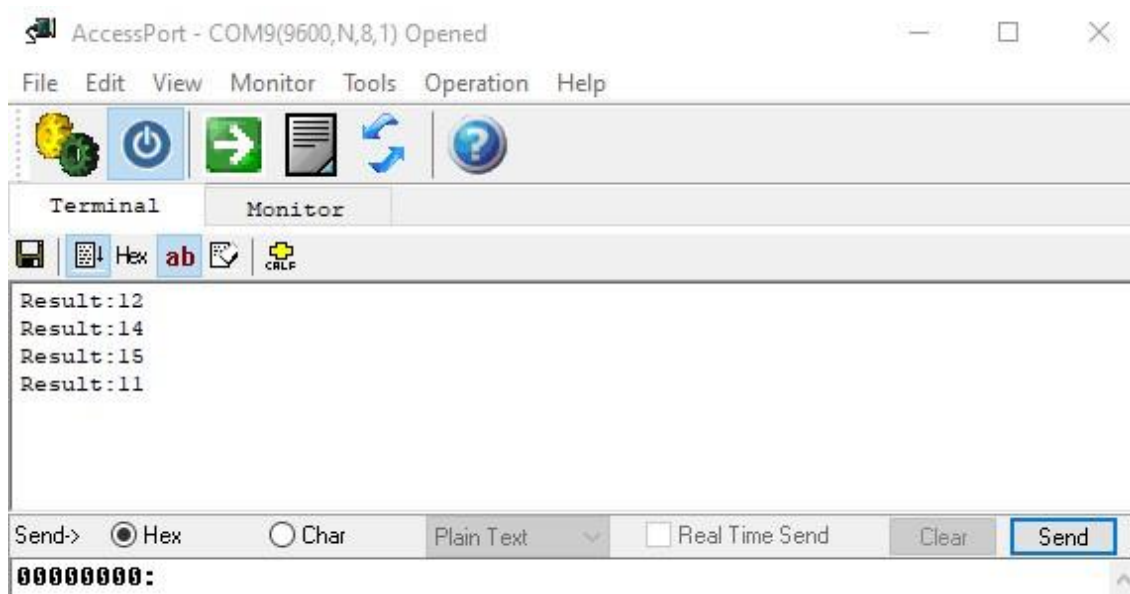


Figura 69 - Teste do funcionamento dos comandos de voz

Com o correto funcionamento do módulo de reconhecimento de voz, passou-se para o teste da etapa seguinte do projeto: puxar os fios com o motor. Inicialmente, pensou-se em colocar o motor na vertical (Figura 69) e após alguns testes, chegou-se à conclusão de que o motor nessa posição não era uma boa solução porque, como o fio fazia um “L” da ponta do dedo ao motor, era exercida mais força sobre ele, enquanto que na horizontal, o fio atravessava da ponta do dedo ao motor numa linha reta. O problema era que, quando o motor puxava o fio, devido a resistência oferecida pelos dedos, o parafuso tinha tendência em deslocar-se para cima. Para isso, foi necessário desenvolver algum suporte que forçasse o motor e o parafuso a estarem presos. A solução passou por desenhar uma caixa apropriada para o conjunto motor + parafuso. Prendeu-se a caixa à luva com velcro, evitando, assim, a deslocação da mesma. Uma melhor solução seria o uso de uma fita que fosse possível apertar no pulso, como um relógio, visto que o velcro por vezes não é forte o suficiente para segurar a caixa.



Figura 70 - Teste com motor na vertical

Colocando todos os componentes no dorso da mão e prendendo-os à luva com fita velcro, foi então possível testar o sistema completo. Enquanto o comando “Ativar” não for dito, não é possível realizar nenhuma ação, por isso, essa é a primeira instrução a dar. Se o LED acender (Figura 70), significa que a luva está pronta para receber outros comandos.

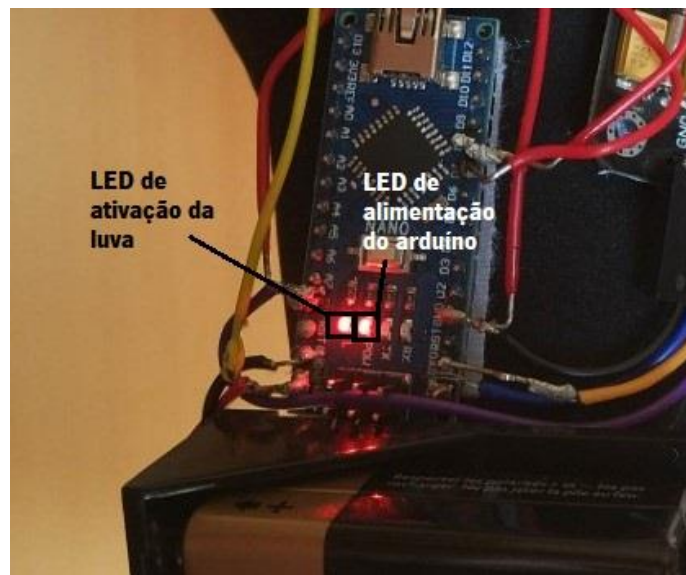


Figura 71 - LED aceso - luva ativa

Com a luva ativa, o utilizador pode então fechar ou abrir a mão apenas dizendo os comandos correspondentes a cada ação. O sistema não permite que sejam repetidas duas vezes seguidas as instruções “Abrir” ou “Fechar” e, após ativar a luva, o utilizador apenas pode dar o comando “Fechar”, visto que a luva, inicialmente, já se encontra aberta. Na Figura 71 observa-se a luva com a mão fechada e na Figura 72, vê-se a luva a abrir a mão e a voltar ao seu estado inicial.



Figura 72 - Luva a fechar



Figura 73 - Luva a abrir

Apesar de a luva não cansar ao utilizador, por ser de neopreno e toda fechada, causa bastante calor na mão do utilizador.

Testou-se várias vezes seguidas o motor a rodar num sentido e no outro, e pode-se dizer que, apesar de os dedos lhe oferecerem alguma resistência quando os puxa, este não sobreaquece, sentindo-se apenas um ligeiro aumento de temperatura na carcaça do motor.

Realizaram-se diferentes testes com diferentes objetos para perceber se a luva era capaz de agarrar objetos com diferentes tamanhos e pesos e surpreendeu pela positiva, visto realizar com sucesso essas tarefas. As figuras 73 e 74 mostram a pessoa com paralisia muscular a agarrar um comando de televisão e uma carteira sem dificuldades. Mesmo após abanar o braço, o objeto nunca escorregou da mão, isto fruto do material da palma da luva que tem boa aderência.



Figura 74 - Luva a agarrar um comando de televisão



Figura 75 - Luva a agarrar uma carteira

Depois, testou-se agarrar um objeto com mais peso para observar se os dedos não cediam. Colocaram-se objetos dentro de um saco de modo a perfazer um total de cerca de 1,5 kg e, com este pousado no chão, auxiliou-se a pessoa a passar os dedos indicador e médio pelas alças do saco. Na figura 76 é possível observar que a luva conseguiu agarrar o saco sem que, quando levantado do chão, fizesse ceder os dedos e largá-lo.



Figura 76 - Luva a agarrar um saco com 1,5 kg

Para conseguir saber o peso máximo que a luva aguenta, fizeram-se vários testes com diversos objetos de diferentes pesos. Chegou-se à conclusão de que cerca de 3 kg é o peso máximo que a luva aguenta sem que os dedos cedam e, na figura 76, observa-se a pessoa a pegar num haltere com esse peso. Objetos com pesos superiores arrancavam a caixa de suporte do motor da luva devido à força exercida. Mesmo prendendo a caixa à luva de uma forma mais eficaz, não é muito aconselhado amarrar objetos com mais do que esse peso porque pode danificar o motor. Um melhor motor, com mais binário, seria uma solução para conseguir agarrar objetos mais pesados, mas, em contrapartida, por ter que ser maior, seria mais pesado e consumiria mais energia.



Figura 77 - Luva a agarrar um haltere de 3 kg

Capítulo 6 – Conclusão

O objetivo desta dissertação passava por desenvolver um mecanismo capaz de auxiliar uma pessoa com paralisia nas mãos a realizar tarefas simples do dia-a-dia. Para tal, desenvolveu-se uma luva robótica controlada por comandos de voz. A sua arquitetura baseou-se no uso de um módulo de reconhecimento de voz, um arduino nano, um micromotor, uma ponte-H, fio de costura e uma luva de neopreno.

O sistema de controlo por voz foi, sem dúvida, um excelente *add-on* à luva. Isto porque grande parte das pessoas que sofrem de paralisia das mãos, não conseguem clicar em botões, não lhes permitindo usar a maioria das luvas robóticas já existentes no mercado. Para este sistema foi utilizado um módulo de reconhecimento de voz, bastante acessível de programar e com opção de gravar até 15 instruções de voz, para a realização de diferentes tarefas.

Foi utilizado um arduino nano para ler por porta-série os comandos de voz ditos pelo utilizador em tempo-real, permitindo realizar ações como fechar e abrir a mão. Para puxar os dedos de uma pessoa era necessário um motor que tivesse um bom binário e baixa velocidade, por isso optou-se por um micromotor com caixa redutora com velocidade máxima de 50 RPM. Para este rodar nos dois sentidos, de modo a fechar e abrir a mão, recorreu-se a uma ponte-H, permitindo, assim, passar corrente nos dois sentidos do motor.

O desenvolvimento deste projeto foi uma tarefa desafiante que envolveu muita pesquisa, principalmente na escolha do atuador. Existem diversos já desenvolvidos por cientistas e investigadores, mas que ainda não foram testados para este fim, como o uso do fio de nylon revestido a metal, polímeros eletroativos, entre outros. Os objetivos foram cumpridos, com o desenvolvimento completo de um protótipo que é, agora, uma base sólida para futuras melhorias.

6.1 Trabalho futuro

O resultado final não foi 100% o esperado, havendo espaço para algumas melhorias. A caixa onde se colocou o motor é um pouco grande, não sendo prática para o utilizador, daí ser sugerido a alteração do seu suporte, de modo a ser mais pequeno e cómodo. O modo como a luva fecha a mão não é, de todo, o mais indicado. O objetivo seria dobrar as juntas entre as falanges, mas o que acontece é que, quando o motor puxa o fio, este puxa o dedo para baixo, mantendo-o ligeiramente esticado. Também seria importante implementar extensómetros por cima dos dedos, de modo a permitir fechar e abrir completamente a mão, e não ter um tempo específico para cada ação visto que, caso o motor tenha de fazer mais força para puxar, vai puxar mais devagar, logo o tempo definido não vai ser suficiente para fechar a mão. Sugere-se, também, uma melhor organização e automatização do hardware para uma melhor comodidade para a pessoa e, por fim, trocar a luva por uma tala para o polegar juntamente com dois ou quatro dedos de luva (semelhante ao projeto Neomano da Neofect [7]), tendo assim um equipamento mais respirável e confortável.

Referências

- [1] Maddox, S. (2017). *Paralysis Resource Guide*. 4ª ed. Christopher & Dana Reeve Foundation. New Jersey.
- [2] WebMD. (2019, março 18). *Types of Paralysis*.
Disponível em: <https://www.webmd.com/brain/paralysis-types>.
Acedido em 23 de maio de 2020.
- [3] Alrabghi, L., Alnemari, R., Aloteebi, R., Alshammari, H., Ayyad, M., Ibrahim, M. A., Alotayfi, M., Bugshan, T., Alfaifi, A., Aljuwayd H. (2018) *Stroke types and management*. International Journal of Community Medicine and Public Health. N°9. Vol. 5.
- [4] Zarei, S., Carr, K., Reiley, L., Diaz, K., Guerra, O., Altamirano, P. F., Pagani, W., Lodin, D., Orozco, G., China A. (2015). *A comprehensive review of amyotrophic lateral sclerosis*. Surgical Neurology International.
- [5] Biesiada, G., Czepiel, J., Leśniak, M. R., Garlicki, A., Mach T. (2010). *Lyme disease: review*. National Library of Medicine.
- [6] U.S. Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. *Lyme Disease: What you need to know*.
- [7] U.S. Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. *Muscular Dystrophy: A Public Health Challenge*.
- [8] Complex Carbohydrate Research Center. (2019). Duchenne muscular dystrophy. University of Georgia.
Disponível em:
www.crc.uga.edu/~steet/bcmb8160/lectures/muscular%20dystrophy%20lecture.pdf.
- [9] Schmidt, J. (2018). *Current Classification and Management of Inflammatory Myopathies*. Journal of Neuromuscular Diseases, N°5, pp. 109-129.
- [10] Kolodny, L, Petrova, M. (2017, setembro 23). This robotic glove will give you bionic hands. CNBC.
Disponível em: www.cnbc.com/2017/09/23/nuada-robot-glove-will-give-you-bionic-hands.html.
Acedido em 12 de maio de 2020.
- [11] Nuada. (2014) *Nuada*.
Disponível em: www.nuada.pt.
Acedido em 12 de maio de 2020.

- [12] NASA. (2012, março 13). *Robotic Technology Lends More Than Just a Helping Hand*.
Disponível em: www.nasa.gov/mission_pages/station/main/robo-glove.html.
Acedido em: 14 de maio de 2020.
- [13] Dinheiro Vivo. (2012, março 13). *K-Glove. A luva robótica para humanos usarem*.
Disponível em: www.dinheirovivo.pt/buzz/k-glove-a-luva-robotica-para-humanos-usarem.
Acedido em: 14 de maio de 2020.
- [14] Polygerinos, P., Galloway, K. C., Savage, E., Herman, M., O'Donnel, K., Walsh, C. J. (2015). Soft Robotic Glove for Hand Rehabilitation and Task Specific Training. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Washington State Convention Center, May 26-30 2015*. Seattle, Washington.
- [15] Delph, M. A., Fischer, S. A., Gauthier, P. W., Luna, C. H. M. (2012). Rehabilitative Robotic Glove. (Dissertação de bacharelato).
Disponível na Digital WPI database. (UMI No. GSF-M121).
- [16] NEOFECT Neomano. (2018). *NeoMano: Regain Hand Function and Independence*.
Disponível em: www.indiegogo.com/projects/neomano-regain-hand-function-and-independence#.
Acedido em 20 de maio de 2020.
- [17] Vyas, K. (2018, março 6). *Everything You Need to Know About Voice Recognition Technology*. DZone.
Disponível em: www.dzone.com/articles/everything-you-need-to-know-about-voice-recognition.
Acedido em 30 de maio de 2020.
- [18] Pia (2020, janeiro 13). *Who's the BEST Virtual Assistant: Google, Alexa, Cortana or Siri?*. Robots.net.
Disponível em: <https://robots.net/ai/whos-the-best-virtual-assistant-google-alexa-cortana-or-siri/>.
Acedido em 30 de maio de 2020.
- [19] Velde, N. (2019, julho 8). *Speech Recognition Technology Overview*. Globalme.
Disponível em: www.globalme.net/blog/the-present-future-of-speech-recognition/#History_of_Speech_Recognition_Technology.
Acedido em 30 de maio de 2020.

- [20] Benk, S., Dennai, A., Elmir, Y. (2019, agosto). *A Study on Automatic Speech Recognition*.
Disponível em:
www.researchgate.net/publication/337155654_A_Study_on_Automatic_Speech_Recognition
- [21] Anusuya, M. A., Katti, S. K. (2009). *Speech Recognition by Machine: Review*. International Journal of Computer Science and Information Security, Vol 6, N° 3.
- [22] Samudravijaya, K. *Automatic Speech Recognition*. Indian Institute of Technology Guwahati.
Disponível em: <http://www.iitg.ac.in/samudravijaya/tutorials/asrTutorial.pdf>
- [23] Cardoso, V. F., Ribeiro, C., Lanceros-Mendez, S. (2016). Metamorphic biomaterials. In Rodrigues, L. R., Mota, M., *Bioinspired Materials for Medical Applications*. 1° ed. pp 69-99.
- [24] Correia, D. M., Barbosa J. C., Costa, C. M., Reis, P. M., Esperança, J. M. S. S., Zea Bermudez, V, Lanceros-Méndez, S. (2019). *Ionic Liquid Cation Size-Dependent Electromechanical Response of Ionic Liquid/Poly(vinylidene fluoride)-Based Soft Actuators*. The Journal of Physical Chemistry.
- [25] Componentes101. (2018, março 12). Arduino Nano.
Disponível em: www.componentes101.com/microcontrollers/arduino-nano.
Acedido em 10 de junho de 2020.
- [26] Arduino. (2008, junho 26) *Arduino Nano (V2.3) User Manual*.
Disponível em: www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf.
Acedido em 10 de junho de 2020.
- [27] Robots For Fun. (2015). *Bluetooth*.
Disponível em: <http://www.robotsforfun.com/webpages/bluetooth.html>.
Acedido em 23 de junho de 2020.
- [28] Geeetech. (2014). *Arduino Voice Recognition Module*.
Disponível em: www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino_Voice_Recognition_Module.
Acedido em 23 de junho de 2020.
- [29] Eletret microphone. (2012). In *Wikipédia*.
Disponível em: www.en.wikipedia.org/wiki/Electret_microphone.
Acedido em 25 de junho de 2020.

- [30] Texas Instruments. (1986, setembro). *L293x Quadruple Half-H Drivers*.
Disponível em: www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf.
Acedido em 29 de junho de 2020.
- [31] Straub, M. G. (2019, novembro 20). *Motor Shield Arduino L293D – Driver Ponte H no Controle de Motores*. Usinainfo.
Disponível em: www.usinainfo.com.br/blog/motor-shield-l293d-driver-ponte-h-no-controle-de-motores/.
Acedido em 30 de junho de 2020.
- [32] Botnroll. *Micro motor c/ caixa redutora 50rpm – n30*.
Disponível em: <https://www.botnroll.com/pt/motores-dc/1355-gm12-n30-metal-gear-motor.html>.
Acedido em 30 de junho de 2020.
- [33] Orliman. *Wrist support with rigid thumb splint*.
Disponível em: <https://www.orliman.com/en/product/wrist-support-with-rigid-thumb-splint/>.
Acedido em 30 de junho de 2020.
- [34] G. Daniel. (2017). *Maker Challenge: Create and Control a Popsicle Stick Finger Robot*. University of Colorado.
Disponível em: <https://www.teachengineering.org/makerchallenges/view/cub-2201-popsicle-robot-arduino-servo-flex-sensor>.
Acedido em 30 de junho de 2020.
- [35] S. Geoffrey [BionicMuscles]. (2019, setembro 5). *Making artificial muscles from fishing line* [Vídeo]. Youtube
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gzdZGKHdfsc&t=226s>.
Acedido em 4 de julho de 2020.
- [36] Zhao, J., Abbas, A., Trinko, D. (2016). *Miniature Soft Bending Actuator with Embedded Coiled Muscles*. Zhao Research Group, Colorado State University, Colorado.
Disponível em: www.softroboticstoolkit.com/book/miniature-soft-bending-actuator-embedded-coiled-muscles.
Acedido em 4 de julho de 2020.

Anexos

Anexo 1 – Instruções para o software “AccessPort”

| Key (HEX format) | Description | Respond in Common Mode | Respond in Compact Mode |
|-----------------------------|---|---|--|
| 0x00 | Enter into "Waiting" state | "Waiting! n" : successful "ERROR! n" : Instruction error | 0xcc : successful 0xe0 : Instruction error |
| 0x01 | Delete the instructions of group 1 | "Group1 Deleted ! n" : successful "ERROR! n" : Instruction error | 0xcc : successful 0xe0 : Instruction error |
| 0x02 | Delete the instructions of group 2 | "Group2 Deleted ! n" : successful "ERROR! n" : Instruction error | 0xcc : successful 0xe0 : Instruction error |
| 0x03 | Delete the instructions of group 3 | "Group3 Deleted ! n" : successful "ERROR! n" : Instruction error | 0xcc : successful 0xe0 : Instruction error |
| 0x04 | Delete the instructions of all the 3 groups | "All Groups Deleted ! n " : successful "ERROR! n" : Instruction error | 0xcc : successful 0xe0 : Instruction error |
| 0x11 | Begin to record instructions of group 1 | "ERROR! n" : Instruction error "START n" : Ready for recording, you can speak now "No voice n" : no voice detected "Again n" : Speak the voice instruction again. Do not speak until getting the START message "Too loud n" : Too loud to record "Different n" : voice instruction confirming failed. Voice for the second chance is different with the first one. "Finish one n" : recording one voice instruction successfully "Group1 finished! n" : finish recording group 1 | 0xe0 : Instruction error 0x40 : Ready for recording, you can speak now 0x41 : no voice detected 0x42 : Speak the voice instruction again. Do not speak until getting the START message 0x43 : Too loud to record 0x44 : voice instruction confirming failed. Voice for the second chance is different with the first one. 0x45 : recording one voice instruction successfully 0x46 : finish recording group 1 |
| 0x12 | Begin to record instructions of group 2 | "ERROR! n" : Instruction error "START n" : Ready for recording, you can speak now "No voice n" : no voice detected "Again n" : Speak the voice instruction again. Do not speak until getting the START message "Too loud n" : Too loud to record "Different n" : voice instruction confirming failed. Voice for the second chance is different with the first one. "Finish one n" : recording one voice instruction successfully "Group2 finished! n" : finish recording group 2 | 0xe0 : Instruction error 0x40 : Ready for recording, you can speak now 0x41 : no voice detected 0x42 : Speak the voice instruction again. Do not speak until getting the START message 0x43 : Too loud to record 0x44 : voice instruction confirming failed. Voice for the second chance is different with the first one. 0x45 : recording one voice instruction successfully 0x47 : finish recording group 2 |
| 0x13 | Begin to record instructions of group 3 | "ERROR! n" : Instruction error "START n" : Ready for recording, you can speak now "No voice n" : no voice detected "Again n" : Speak the voice instruction again. Do not speak until getting the START message "Too loud n" : Too loud to record | 0xe0 : Instruction error 0x40 : Ready for recording, you can speak now 0x41 : no voice detected 0x42 : Speak the voice instruction again. Do not speak until getting the START message |

| | | | |
|-------------|---|--|---|
| | | <p>"Different n" : voice instruction confirming failed. Voice for the second chance is different with the first one.</p> <p>"Finish one n" : recording one voice instruction successfully</p> <p>"Group3 finished! n" : finish recording group 3</p> | <p>0x43 : Too loud to record</p> <p>0x44 : voice instruction confirming failed. Voice for the second chance is different with the first one.</p> <p>0x45 : recording one voice instruction successfully</p> <p>0x48 : finish recording group 3</p> |
| 0x21 | Import group 1 and be ready for voice instruction | <p>"Group1 Imported ! n" : Successful</p> <p>"ERROR! n" : Instruction error</p> <p>"Import failed ! n" : Importing voice group failed</p> | <p>0xcc : Successful</p> <p>0xe0 : Instruction error</p> <p>0xe1 : Importing voice group failed</p> |
| 0x22 | Import group 2 and be ready for voice instruction | <p>"Group2 Imported ! n" : Successful</p> <p>"ERROR! n" : Instruction error</p> <p>"Import failed ! n" : Importing voice group failed</p> | <p>0xcc : Successful</p> <p>0xe0 : Instruction error</p> <p>0xe1 : Importing voice group failed</p> |
| 0x23 | Import group 3 and be ready for voice instruction | <p>"Group3 Imported ! n" : Successful</p> <p>"ERROR! n" : Instruction error</p> <p>"Import failed ! n" : Importing voice group failed</p> | <p>0xcc : Successful</p> <p>0xe0 : Instruction error</p> <p>0xe1 : Importing voice group failed</p> |
| 0x24 | Query the recorded group | <p>"Used group:0 n" : No group is recorded</p> <p>"Used group:1 n" : Group 1 is recorded</p> <p>"Used group:2 n" : Group 2 is recorded</p> <p>"Used group:3 n" : Group 3 is recorded</p> <p>"Used group:12 n" : Group 1 and Group 2 are recorded</p> <p>"Used group:13 n" : Group 1 and Group 3 are recorded</p> <p>"Used group:23 n" : Group 2 and Group 3 are recorded</p> <p>"Used group:123 n" : All the 3 groups are recorded</p> <p>"ERROR! n" : Instruction error</p> | <p>0x00 : No group is recorded</p> <p>0x01 : Group 1 is recorded</p> <p>0x02 : Group 2 is recorded</p> <p>0x04 : Group 3 is recorded</p> <p>0x03 : Group 1 and Group 2 are recorded</p> <p>0x05 : Group 1 and Group 3 are recorded</p> <p>0x06 : Group 2 and Group 3 are recorded</p> <p>0x07 : All the 3 groups are recorded</p> <p>0xe0 : Instruction error</p> |
| 0x31 | Change the baud rate to 2400bps | <p>"Baud: 2400 n" : Successful</p> <p>"ERROR! n" : Instruction error</p> | <p>0xcc : successful</p> <p>0xe0 : Instruction error</p> |
| 0x32 | Change the baud rate to 4800bps | <p>"Baud: 4800 n" : Successful</p> <p>"ERROR! n" : Instruction error</p> | |
| 0x33 | Change the baud rate to 9600bps | <p>"Baud: 9600 n" : Successful</p> <p>"ERROR! n" : Instruction error</p> | |
| 0x34 | Change the baud rate to 19200bps | <p>"Baud: 19200 n" : Successful</p> <p>"ERROR! n" : Instruction error</p> | |
| 0x35 | Change the baud rate to 38400bps | <p>"Baud: 38400 n" : Successful</p> <p>"ERROR! n" : Instruction error</p> | |
| 0x36 | Switch to Common Mode | <p>"Common Mode n" : Successful</p> <p>"ERROR! n" : Instruction error</p> | |
| 0x37 | Switch to Compact Mode | <p>"Compact Mode n" : Successful</p> <p>"ERROR! n" : Instruction error</p> | |
| 0xbb | Query version information | Version information | |