



Unioeste - Universidade Estadual do Oeste do Paraná
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
Colegiado de Ciência da Computação
Curso de Bacharelado em Ciência da Computação

**Construção de um Protótipo de Cadeira de Rodas em Pequena Escala Utilizando
Kits LEGO Ativado por Comando de Voz**

Carina Pasinato Dalsasso

CASCADEL
2019

CARINA PASINATO DALSSASSO

**Construção de um Protótipo de Cadeira de Rodas em Pequena Escala
Utilizando *Kits* LEGO Ativado por Comando de Voz**

Monografia apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da
Computação, do Centro de Ciências Exatas e Tec-
nológicas da Universidade Estadual do Oeste do
Paraná - Campus de Cascavel

Orientadora: Prof^ª. M. Eng. Adriana Postal

CASCADEL
2019

CARINA PASINATO DALSSASSO

**Construção de um Protótipo de Cadeira de Rodas em Pequena Escala
Utilizando *Kits* LEGO Ativado por Comando de Voz**

Monografia apresentada como requisito parcial
para obtenção do Título de Bacharel em Ciência
da Computação, pela Universidade Estadual do
Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, aprovada
pela Comissão formada pelos professores:

Prof^a. M. Eng. Adriana Postal (Orientador)
Colegiado de Ciência da Computação,
UNIOESTE

Prof. M. Eng. Josué Pereira de Castro
Colegiado de Ciência da Computação,
UNIOESTE

Prof. Dr. Gustavo Henrique Paetzold
Colegiado de Engenharia da Computação,
UTFPR-Toledo

Cascavel, 13 de dezembro de 2019

*“(Gaia) santa terra que atura esse pobre animal
(Gaia) que te explora, devora e destrói onde mora
(Gaia) perdão porque a gente só vai entender
Quando te perder” Terra Celta*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades desses 6 longos anos de graduação.

Aos meus pais, Angela e Gilberto, pelo apoio financeiro, que permitiu que eu me dedicasse integralmente a faculdade, pela preocupação nas noites que eu ficava acordada até tarde, dizendo que eu precisava dormir. A toda a família que sempre me apoiou e se preocupou quando não estava presente nos almoços de domingo.

Ao meu namorado, Mateus, que nesses 4 anos sempre foi meu companheiro, sempre esteve me motivando, foi meu parceiro de trabalhos e madrugadas em claro estudando para provas e terminando trabalhos. Sempre me deu apoio emocional e acreditou em mim e nunca me deixou desistir, mesmo quando eu achava que não seria capaz.

A UNIOESTE, que nesses 6 longos anos se tornou a minha casa, onde passava a maior parte do tempo. Agradeço todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica, encontrei não só bons professores, mas também parceiros para jogar conversa fora nos momentos de relaxamento entre os estudos. Ao projeto Guarda Mirim, que me permitiu evoluir como pessoa, aprendendo a ensinar e a lidar com as diversas personalidades que conheci nos 5 anos no qual fiz parte.

A Adriana, que, além de orientadora, foi uma grande amiga dentro da universidade, por toda a confiança e apoio, que me guiou com todo seu conhecimento e paciência com essa pessoa que possui grande dificuldade em escrever e, que a cada orientação, pelo menos um parágrafo deveria ser reescrito pois estava coloquial demais, sem ela esse trabalho não estaria assim. Agradeço também aos membros da minha banca, Gustavo e Josué, por terem aceito o convite e por todo o conhecimento agregado ao meu trabalho.

A todas as pessoas que ajudaram neste trabalho, ao Maycon, por todo o suporte prestado durante o ano em relação ao sistema; e todas as pessoas que participaram da realização dos testes, que doaram um pouco do tempo de vocês, sem isso, não teria sido possível obter os resultados dos testes.

A todos os meus amigos, os de longa data e os que a UNIOESTE me deu, vocês são mais que amigos, são *friends*. Todos os amigos que mesmo na minha ausência me apoiaram, caminharam e comemoraram comigo. A finada atlética Leão Loko e atual V de Novembro, por ter proporcionado momentos de alegria e distração e por ter me permitido fazer parte do time de basquete mais maravilhoso do mundo. A todos os veteranos, colegas de turma e calouros, que me ajudaram não só com seus conhecimentos mas também fizeram dos meus dias na universidade melhores, com as conversas no corredor, almoços e jantas no RU, momentos de desestresse pós prova.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, obrigada por tudo.

Lista de Figuras

2.1	Coluna vertebral (GRAY, 1918)	7
2.2	Processo de captura de sinais do som (OLIVEIRA, 2018)	11
3.1	Bloco NXT	15
3.2	Interface do MATLAB	16
3.3	Interface do LEGO Digital Designer	17
3.4	Protótipo do robô desenvolvido no LEGO Digital Designer	18
4.1	Fluxograma da Implementação	20
4.2	Tela inicial do sistema	21
4.3	Tela do sistema enquanto uma palavra é falada	21
4.4	Matriz de confusão contendo todos os testes	24
4.5	Matrizes de confusão dos testes	25

Lista de Tabelas

2.1	Escala de Frankel (FRANKEL et al., 1969)	9
2.2	Classificação de sistemas de reconhecimento de fala segundo Furui (1989) . . .	12
4.1	Roteiros utilizados	23
4.2	Porcentagens de Acerto	24
C.1	Funções RWTH utilizadas	47
D.1	Resultados Obtidos - Ambiente Interno com <i>Webcam</i>	48
D.2	Resultados Obtidos - Ambiente Interno com <i>Headset</i>	49
D.3	Resultados Obtidos - Ambiente Externo com <i>Headset</i>	49
D.4	Resultados Obtidos - Ambiente Externo com <i>Webcam</i>	49

Sumário

Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	viii
Sumário	ix
Resumo	xi
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Geral	3
1.1.2 Específicos	3
1.2 Trabalhos Correlatos	3
1.3 Organização do Trabalho	5
2 Referencial Bibliográfico	6
2.1 Tetraplegia	6
2.1.1 Lesões na Coluna	7
2.1.2 Escala de Frankel	9
2.1.3 Dificuldades dos tetraplégicos	9
2.2 Reconhecimento de Voz	11
2.2.1 Classificação de Furui	12
2.3 Reconhecimento de fala utilizando o Modelo Oculto de Markov	13
3 Materiais e Métodos	14
3.1 Metodologia	14
3.2 LEGO Mindstorms Education NXT	14
3.3 MATLAB	15
3.4 RWTH - Mindstorms NXT Toolbox	15

3.5	LEGO Digital Designer	16
3.6	Captação do Som	17
3.7	Protótipo	17
4	Implementação e testes	19
4.1	Conexão <i>Bluetooth</i>	19
4.2	Funcionamento	19
4.3	Testes	22
4.3.1	Resultados	24
5	Considerações Finais e Trabalhos Futuros	27
A	Montagem do robô	29
A.1	Montagem da base do protótipo	30
A.2	Montagem do Encosto	37
A.3	Protótipo Final	43
B	Conexão <i>Bluetooth</i> entre PC e NXT	45
C	Funções RWTH utilizadas	47
D	Testes Executados	48
	Referências	50

Resumo

Este trabalho mostra como o reconhecimento de voz pode auxiliar na locomoção de pessoas com tetraplegia. Os testes foram realizados a partir de um protótipo construído com *kits LEGO Mindstorms Education* onde os comandos são falados para um sistema, o qual tenta reconhecer a palavra e envia o comando para o robô via *Bluetooth*. O sistema reconhecedor foi desenvolvido por outro acadêmico na linguagem MATLAB e adaptado para se comunicar com o protótipo utilizando a biblioteca RWTH. As palavras que o sistema é capaz de reconhecer são frente, trás, esquerda, direita e para. Nos testes realizados, o sistema obteve uma porcentagem de acerto de 72,39%, resultado que, por ora, não é adequado para ser usado em uma cadeira de rodas real.

Palavras-chave: RWTH, MATLAB, Robótica, Tetraplégico, Tetraplegia, Tecnologia Assistiva.

Capítulo 1

Introdução

Tetraplégicos são pessoas que possuem tetraplegia, que consiste na “paralisia parcial ou completa envolvendo todas as quatro extremidades e o tronco, como resultado do dano à medula espinhal cervical” (BROMLEY, 1997).

Quando uma pessoa é tetraplégica ela depende integralmente de uma pessoa para lhe auxiliar em suas atividades cotidianas, sejam elas beber água, se alimentar, ir ao banheiro, ir da cama para a cadeira e vice-versa, entre outras, limitando assim sua capacidade de autonomia. Segundo Torres (1999), “a autonomia significa autogoverno, autodeterminação da pessoa em tomar decisões relacionadas a sua vida, sua saúde, sua integridade físico-psíquica e suas relações sociais”.

Sendo assim, mesmo que o tetraplégico não consiga realizar movimentos, sua vontade deve ser respeitada. Segundo o estudo de Sousa (2017, p. 50),

“uma pessoa com tetraplegia completa tem a sua mobilidade comprometida mas não apresenta limitações a nível da compreensão, nem da visão, audição e fala, sendo a comunicação com o outro uma parte muito importante da sua reabilitação, o fato da pessoa com tetraplegia necessitar muitas vezes de solicitar que terceiros façam as suas atividades básicas faz com que este acontecimento supracitado seja um grave desrespeito pela autonomia da pessoa com tetraplegia completa.”

Para que um indivíduo possa socializar, ele precisa deslocar-se até uma roda de conversa ou esperar que alguém chegue até ele, o que raramente acontece quando se trata de pessoas tetraplégicas. Dada esta dificuldade, decidiu-se estudar uma forma que possibilite a essas pessoas terem um mínimo de independência.

Para este estudo serão considerados apenas os tetraplégicos que possuem a fala preservada. No ano de 2000 o Censo do IBGE constatou que eram 937 463 (novecentos e trinta e sete mil quatrocentos e sessenta e três) pessoas com tetraplegia, paraplegia ou hemiplegia¹ permanente no Brasil (CENSO, 2000).

Já no ano de 2010, o censo apresentou estes dados de outra forma, por tipo de deficiência. No caso da deficiência motora subdividiu em três grupos (CENSO, 2010):

- não consegue se mover de modo algum, 734 421 pessoas;
- grande dificuldade de movimentação, 3 698 929 pessoas; e
- alguma dificuldade de movimentação, 8 832 249 pessoas.

Como o propósito deste trabalho é auxiliar pessoas com tetraplegia, acredita-se que aproximadamente 3 698 929 (três milhões seiscentos e noventa e oito mil novecentos e vinte e nove) pessoas possam ser beneficiadas.

Neste estudo foi construído um protótipo que utiliza um sistema de reconhecimento de voz no qual são dados comandos para que o robô se locomova por um ambiente representando uma situação da vida real.

O sistema que foi utilizado como base foi desenvolvido por Oliveira (2018) e foi treinado para reconhecer as palavras direcionadoras “frente”, “trás”, “direita”, “esquerda” e “para” utilizando cadeias de Markov. O sistema possui uma taxa de acerto de 88%, sendo observado que pequenos ruídos não são muito significativos durante o processo de reconhecimento.

Para que o protótipo seja analisado, o sistema foi testado em um robô elaborado usando peças LEGO. Para isto, foi necessário modificar o código, incluindo comandos que sejam aceitos pelo NXT Bloco Inteligente (*Intelligent Brick*), que é a peça que controla o robô.

Com este estudo, desejou-se encontrar uma solução que permita que pessoas tetraplégicas consigam chegar a um grupo de conversa para interagir sem que outra pessoa tenha que leva-lo até lá ou que esta pessoa possa se locomover sozinha para que tenha seu momento de reflexão e um pouco de liberdade.

Para simular esta necessidade, foi utilizado um robô para representar a cadeira de rodas sendo guiada através do uso de comandos de voz.

¹Paralisia de metade do corpo (esquerda ou direita).

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Construir um protótipo utilizando peças LEGO que represente uma cadeira de rodas que se locomova por meio de reconhecimento de comandos de voz.

1.1.2 Específicos

- Compreender o sistema desenvolvido por Oliveira (2018);
- Aperfeiçoar os conhecimentos da linguagem MATLAB específica para LEGO;
- Adaptar o código implementado por Oliveira (2018) que reconhece as palavras direcionadoras para a linguagem MATLAB para LEGO utilizando a *toolbox* RWTH;
- Desenvolver a cadeira de rodas utilizando peças LEGO;
- Testar o robô desenvolvido com o sistema implementado.

1.2 Trabalhos Correlatos

Jesuino (2012) e Manica (2014) utilizaram em seus trabalhos o *software* MATLAB e a *toolbox* RWTH, enviando informações para um *brick* LEGO NXT 2.0 por meio de conexão *bluetooth*.

Jesuino (2012) desenvolveu um gerador de planos de rotas para um sistema de navegação autônoma baseado na arquitetura AuRA. Foram desenvolvidos dois módulos de navegação autônomo: um módulo reativo, onde o robô se locomove com o uso de seus sensores, e um módulo deliberativo, onde o robô se locomove a partir de um mapa previamente indicado.

Manica (2014) desenvolveu uma rede neural artificial para reconhecer as palavras frente, ré, direita e esquerda. A implementação foi separada em dois módulos, um responsável por reconhecer os comandos de voz emitidos pelo usuário, e o outro que realiza a conversão dos comandos de voz em instruções de movimentação e o envio destas para o *brick*.

José (2014) desenvolveu, em sua tese de doutorado, uma interface humano-computador controlada pelo lábio, onde o indivíduo tetraplégico consegue movimentar sua cadeira de rodas

movimentando o lábio inferior através de um dispositivo colocado como um *headset* com um *joystick* posicionado na altura do queixo.

A *Wheelesley*, desenvolvida por Yanco (1998), é um sistema de cadeira robótica que consiste em uma cadeira de rodas motorizada com um computador de bordo, sensores e uma interface gráfica com o usuário. Neste sistema, o usuário fornece comandos de alto-nível (‘avançar’, ‘esquerda’, ‘direita’, ‘voltar’ e ‘parar’) através da interface gráfica. O controle de baixo-nível do robô atua através da leitura dos sensores para evitar colisões. A cadeira conta com sensores infravermelhos, sensores de sonar e sensores de Hall². Através da interface é possível alterar a forma que a cadeira será controlada: manual, *joystick* ou pela interface. Também é possível controlar a velocidade da cadeira. A interface também mostra um mapa dos sensores, no qual apresenta objetos que são identificados pelos sensores.

O trabalho desenvolvido por Pacnik, Benkic e Brecko (2005) é uma adaptação de uma cadeira de rodas motorizada utilizando sensores para perceber o entorno da cadeira de rodas, com uma interface de fala para interpretar comandos. Foi utilizado o reconhecimento de voz feito com o reconhecimento de padrões no MATLAB e os comandos (frente, trás, esquerda, direita e para) são dados através de um *headfone*. Quando a voz é detectada, a cadeira de rodas pode ser controlada para se mover na direção dando comandos para a cadeira de rodas. Esses comandos são transferidos para a cadeira de rodas usando sinais elétricos, os quais são usados para acionar o motor esquerdo ou direito da cadeira.

Lund et al. (2010) desenvolveram um sistema que utiliza movimentos da língua para controlar uma cadeira de rodas motorizada. É baseado em um sistema de controle lingual indutivo desenvolvido no Centro para Interação Sensoriais-Motor (SMI) na Universidade de Aalborg. O sistema conta com 18 sensores intra-oral, ativado por um *piercing* de língua. Ele é inserido na cavidade oral e fica praticamente invisível. O dispositivo intra-oral transmite apenas leitura dos sensores enquanto a cadeira de rodas motorizada recebe sinais analógicos representando ‘frente’/‘trás’, ‘esquerda’/‘direita’, junto com um sinal de botão digital e um sinal de on/off.

²Transdutor que, quando sob a aplicação de um campo magnético, responde com uma variação em sua tensão de saída.

1.3 Organização do Trabalho

O capítulo 2 fala sobre a tetraplegia, o reconhecimento de voz e sobre o trabalho usado como base. O capítulo 3 fala sobre os *softwares* e como eles são utilizados neste trabalho, além de discorrer sobre a metodologia aplicada no estudo. O capítulo 4 mostra como foi feita a implementação e os testes realizados e seus resultados. E por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões finais do trabalho.

Capítulo 2

Referencial Bibliográfico

2.1 Tetraplegia

Tetraplegia refere-se a uma lesão na medula espinhal acima da primeira vértebra torácica ou nas vértebras de C1-C8 (sessão 2.1.1). O resultado é algum grau de paralisia em todos os quatro membros - pernas e braços (VILLINES, 2015).

As causas da tetraplegia são diversas. Entre elas estão traumas, infecções, tumores, infartos na medula ou doenças reumáticas como artrite reumatoide, mas as mais frequentes são devido a lesões na coluna cervical. Embora existam diversos softwares e adaptações mecânicas com as mais variadas funções que facilitam a vida dos tetraplégicos, até o momento não existe nenhuma tecnologia que lhes garanta uma vida independente (ANTUNES, 2009).

Essa dependência existe pois os tetraplégicos sempre vão precisar de alguém para colocá-los na cadeira, dar água, comida, tirar o cabelo do rosto, tomar banho, escovar os dentes, entre outras atividades do dia a dia. Outra dificuldade é comunicar-se, fazer parte de grupos de conversa, interagir com outras pessoas, socializar, pois eles precisam que as outras pessoas venham até eles para acontecer o contato. Com isto, torna-se importante o conceito de autonomia, que significa “autogoverno, autodeterminação da pessoa em tomar decisões relacionadas a sua vida, sua saúde, sua integridade físico-psíquica e suas relações sociais” (TORRES, 1999). Ou seja, mesmo que a pessoa dependa de alguém para executar alguma coisa - seja a hora de realizar uma refeição, ficar na cadeira, conversar com determinada pessoa - sua vontade deve ser sempre respeitada (LIMA; MALDONADO, 2013).

2.1.1 Lesões na Coluna

Uma das principais causas da tetraplegia são lesões na coluna cervical. A capacidade de movimentação varia de acordo com o nível da lesão, o que explica alguns conseguirem mexer um membro, mesmo que seja com alguma dificuldade e sem estabilidade. Na figura 2.1 podem ser observadas as vértebras da coluna. De acordo com a vértebra lesionada as funções afetadas mudam. Segundo Center (2019) as funções afetadas nas lesões são as seguintes:

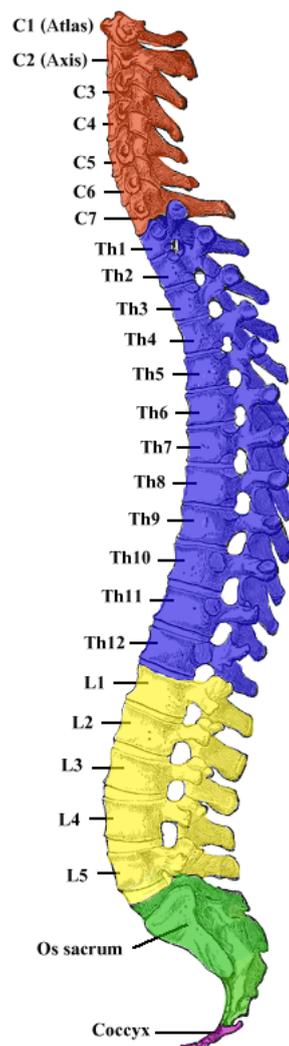


Figura 2.1: Coluna vertebral (GRAY, 1918)

Lesão entre C1 e C4: É o nível mais severo de lesão. Paralisia nos braços, mãos, tronco e pernas. O paciente pode não conseguir respirar sozinho, tossir ou controlar movimentos intestinais ou da bexiga. Habilidade para falar algumas vezes é prejudicada ou reduzida.

Quando os quatro membros são afetados é chamado de tetraplegia. Requer assistência completa com as atividades diárias, como comer, vestir-se, tomar banho e sair ou voltar para a cama. Pode ser capaz de usar cadeira de rodas motorizada com controle especial para se movimentar sozinho. Não poderá dirigir um carro. Requer um cuidador 24 horas por dia.

Lesão na C5: A pessoa pode levantar os braços e dobrar os cotovelos mas provavelmente terá alguma ou total paralisia de pulsos, mãos, tronco e pernas. Pode falar e usar o diafragma, mas a respiração será enfraquecida. Vai precisar de assistência com a maioria das atividades diárias, mas com uma cadeira de rodas motorizada pode se movimentar de um lugar para outro de forma independente.

Lesão na C6: Nervos afetam a extensão dos pulsos. Paralisia nas mãos, troncos e pernas, tipicamente. Deve ser capaz de dobrar os pulsos para trás. Pode falar e usar o diafragma, mas a respiração será enfraquecida. Pode entrar e sair da cadeira de rodas e da cama com equipamento auxiliar. Pode ser capaz de dirigir um veículo adaptado. Pequeno ou nenhum controle voluntário do intestino ou bexiga.

Lesão na C7: Os nervos controlam a extensão do cotovelo e alguma extensão do dedos. A maioria pode endireitar o braço e ter movimentos normais dos ombros. Podem realizar a maioria das atividades diárias sozinhos, mas podem precisar de assistência com as tarefas mais difíceis. Também podem dirigir veículos adaptados. Pequeno ou nenhum controle voluntário do intestino ou bexiga.

Lesão na C8: Os nervos controlam alguns movimentos das mãos. Deve ser capaz de agarrar e soltar objetos. Podem realizar a maioria das atividades diárias sozinhos, mas podem precisar de assistência com as tarefas mais difíceis. Também podem ser capazes de dirigir veículos adaptados. Pequeno ou nenhum controle voluntário do intestino ou bexiga.

Lesão entre a Th1 e Th5: Afetam músculos, parte superior do tórax, meio das costas e músculos abdominais. Esses nervos e músculos ajudam a controlar as costelas, os pulmões, o diafragma e músculos que ajudam na respiração. Lesões geralmente afetam os músculos abdominais e lombares e as pernas, tipicamente resultando em paraplegia. A função de

braço e mão geralmente é normal.

Lesão entre a Th6 e Th12: Afetam músculos abdominais e traseiros. Esses nervos e músculos são importantes para o equilíbrio e a postura, e ajudam a tossir ou expelir substâncias estranhas das vias aéreas. Lesões geralmente resultam em paraplegia. Pouco ou nenhum controle voluntário de intestino ou bexiga.

2.1.2 Escala de Frankel

Devido ao grande número de pacientes que possuem tetraplegia, foi considerado necessário criar uma classificação para avaliar as capacidades motoras e sensoriais do paciente. A classificação foi dividida em cinco graus diferentes e pode ser observada na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Escala de Frankel (FRANKEL et al., 1969)

Grau	Descrição	
A	Completa	Lesão motora e sensorial completa.
B	Apenas Sensorial	Existe sensação abaixo do nível da lesão mas não existe potência motora.
C	Motora Sem Utilidade	Existe potência motora mas não tem utilidade para o paciente.
D	Motora Útil	Existe potência motora abaixo do nível da lesão.
E	Recuperada	O paciente está livre de sintomas neurológicos.

2.1.3 Dificuldades dos tetraplégicos

Após uma lesão na coluna espinhal, grande parte das atividades tornam-se mais complicadas de executar do que anteriormente. Ellis (2017), que sofreu uma lesão em 2015, compartilha vídeos e textos expondo suas experiências e ainda aconselha sobre como lidar com alguns desafios comuns. Referente à atividades essenciais diárias, ele listou cinco delas:

Rotinas de Cateterismo Quando as lesões na coluna impedem que as instruções do cérebro cheguem à bexiga, os cateteres se tornam uma necessidade diária. O autor recomenda o uso de cateteres intermitentes para reduzir o risco de infecções de trato urinário, já que é necessário ser trocado a cada uso.

Programas Intestinais A lesão também pode impedir que os sinais do cérebro cheguem ao intestino. É importante estabelecer um programa regular de intestino. Existem inúmeros

programas que vão desde remoção manual até estimulação digital, supositórios e minienemas. Independente do escolhido, é importante estabelecer e manter um cronograma.

Rotinas de exercícios Para se manter saudável e ativo após uma lesão na coluna espinhal, é vital que seja mantida uma rotina de exercícios. A recomendação de exercícios diários incluem alongamento de braços e pernas. Ele também sugere o treinamento de força ao longo da semana. Exercícios ajudam a compensar a inatividade imposta aos sobreviventes de lesões na coluna, melhorando a saúde e, inclusive, proporcionando melhora no humor.

Liberação de Pressão Manter-se sentado na mesma posição durante todo o tempo pode causar feridas e limitar a circulação sanguínea. Separar um minuto ou dois a cada meia hora para aliviar a pressão, esticando ou mudando a posição é crucial para evitar feridas dolorosas.

Verificações de Pele Fazer verificações diárias na pele é importante para detectar possíveis feridas. Desta forma, o tetraplégico tem a chance de encontrar uma possível ferida com antecedência e impedir que ela piore.

No filme *Intocáveis* - dirigido por Eric Toledano e Olivier Nakache, original da França, lançado no Brasil em 2012 - apesar de ser do gênero de comédia, retrata o cotidiano de um homem rico que após um acidente ficou tetraplégico e contrata um homem da periferia para trabalhar como seu auxiliar de enfermagem que não tem ideia de como as tarefas devem ser executadas e, com o passar do tempo, aprende a cuidar do homem e cria um laço de amizade com o tetraplégico, fazendo com que ele volte a ter ânimo para viver, pois com a deficiência, se tornou uma pessoa fria e não se relacionava com outras pessoas que não fossem as enfermeiras.

Passado o tempo de recuperação no hospital devido a lesão, é necessário que o paciente frequente uma clínica de reabilitação, pois, neste período, é possível que haja alguma melhora na lesão e, com isso, decorra a recuperação de algum movimento.

No período de reabilitação são realizados exercícios diariamente para que os danos sejam os menores possíveis. Neste período ocorre o momento de adaptação às novas condições físicas, em muitos casos de tetraplegia, os pacientes precisam reaprender a respirar e falar. É importante que seja feito um acompanhamento psicológico pois, na maioria dos casos, as pessoas tem dificuldade em aceitar a deficiência.

Quando terminado este tempo, as pessoas permanecem fazendo fisioterapia e outros acompanhamentos. Uma pessoa tetraplégica precisa ter emocional forte, pois além de passar a depender integralmente de outras pessoas, é normal que amigos e familiares se afastem ou sumam por completo de suas vidas, muitas vezes por não saber lidar com a nova condição, não saber como conversar ou ajudar.

2.2 Reconhecimento de Voz

O reconhecimento de fala pode ser definido como o processo de conversão dos sinais de fala em uma sequência de palavras por meio de um algoritmo implementado como um programa de computador. Seu objetivo é que uma máquina possa “escutar”, “entender” e “agir” de acordo com a informação falada (SANTOSH; BHARTI; YANNAWAR, 2010).

Segundo Silva (2009), reconhecimento é a conversão do sinal acústico (fala) transformado em um sinal digital de áudio utilizando um hardware (transdutor) para a captura da fala e um software para transcrever a mesma, de forma que o software reconheça um determinado conjunto de palavras armazenadas em uma base de dados.

No sistema desenvolvido por Oliveira (2018) o processo de captura de sinais do som pode ser observado na figura 2.2, onde o sinal é capturado por um microfone (transdutor), em seguida convertido em sinais elétricos (frequência) e então salvos em um arquivo com um conjunto de parâmetros espectrais e temporais para finalmente serem analisados pelo computador.

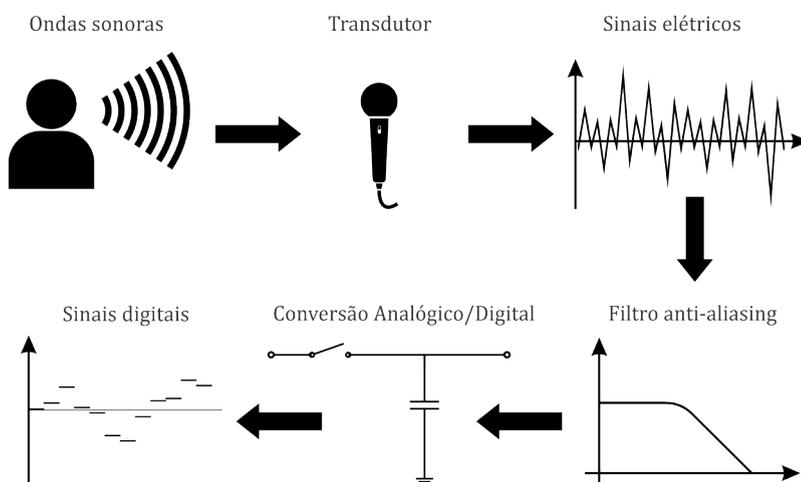


Figura 2.2: Processo de captura de sinais do som (OLIVEIRA, 2018)

2.2.1 Classificação de Furui

Em 1989, Sadaoki Furui propôs uma classificação de sistemas de reconhecimento de fala de acordo com três características: quanto a dependência de locutor; quanto ao tamanho do vocabulário e; quanto ao modo de pronúncia. Esta classificação pode ser encontrada na tabela 2.2.

Tabela 2.2: Classificação de sistemas de reconhecimento de fala segundo Furui (1989)

Característica	Classificação	Descrição
Dependência de locutor	Depende de locutor	reconhece a fala das pessoas cujas vozes foram utilizadas para treinar o sistema.
	Independente de locutor	reconhece a fala de qualquer pessoa com uma taxa de acerto aceitável. Neste caso é necessário realizar o treino do sistema com uma base que inclua diferentes pessoas com diferentes idades, sexo, sotaques, etc.
Tamanho do vocabulário	Pequeno	reconhecem até 20 palavras.
	Médio	reconhecem entre 20 e 100 palavras.
	Grande	reconhecem entre 100 e 1000 palavras.
	Muito grande	reconhecem mais de 1000 palavras.
Modo de pronúncia	Reconhecedor de palavras isoladas	estes sistemas reconhecem palavras faladas isoladamente, isto é, entre cada palavra deve existir uma pausa mínima, para que seja detectado o início e o fim da mesma.
	Reconhecedor de palavras conectadas	são capazes de reconhecer sentenças completas pronunciadas sem pausa entre as palavras, porém estas devem ser bem pronunciadas.
	Reconhecedor de fala contínua	são capazes de reconhecer a fala na comunicação natural, sem nenhuma particularidade quanto à pronúncia. Estes sistemas são bastante complexos, pois precisam lidar com todas as características e vícios da linguagem natural, como o sotaque, a duração das palavras, a pronúncia descuidada, etc.

Segundo a classificação proposta por Furui (1989) o sistema base é um sistema reconhecedor de palavras isoladas, ou seja, entende apenas palavras faladas separadamente precisando de um intervalo entre os comandos; com um vocabulário pequeno de 5 palavras: “frente”, “trás”, “direita”, “esquerda” e “para”; e não depende do locutor, sendo capaz de compreender o que foi dito por pessoas que não fizeram parte do treinamento.

2.3 Reconhecimento de fala utilizando o Modelo Oculto de Markov

O sistema foi desenvolvido em MATLAB utilizando o Modelo Oculto de Markov, que é uma generalização das Cadeias de Markov. Como não possui memória, o Modelo depende apenas do estado atual da máquina de estados para identificar as probabilidades para o próximo estado (OLIVEIRA, 2018).

Para o treinamento do software, foi obtido um total de 300 amostras de som sendo que foram gravadas amostras de 30 pessoas, cada uma falando a mesma palavra 2 vezes, seguindo a mesma ordem, com um total de 5 palavras ($30 * 2 * 5 = 300$). Para o teste, foram 57 pessoas falando as 5 palavras, duas vezes, porém em ordem aleatória. No final do projeto foi obtido uma porcentagem de acerto de 88% dos casos.

Um ponto observado nos testes é que o software encontrou uma grande dificuldade em reconhecer as palavras caso o locutor possua um sotaque ¹ consideravelmente distinto dos demais utilizados no treinamento.

Espera-se que a união do sistema de reconhecimento de fala com o robô LEGO NXT possa servir como passo inicial para que seja aplicado em uma cadeira de rodas e auxilie no deslocamento de tetraplégicos.

¹Maneira particular de determinado locutor pronunciar determinados fonemas em um idioma ou grupo de palavras. É a variante própria de uma região, classe ou grupo social, etnia, sexo, idade ou indivíduo, em qualquer grupo linguístico, e pode-se caracterizar por alterações de ritmo, entonação, ênfase ou distinção fonêmica.

Capítulo 3

Materiais e Métodos

3.1 Metodologia

Para a implementação do sistema foi utilizado o MATLAB (seção 3.3) e a *toolbox* RWTH (seção 3.4). Para desenvolver o projeto do robô foi usado um robô base e projetado no LEGO Digital Designer (seção 3.5). Para montar o robô utilizaram-se kits LEGO Mindstorms Education NXT (seção 3.2). A captação dos comandos é feita pelo microfone de uma *webcam* (seção 3.6) conectado ao notebook/computador utilizado para executar o sistema. O sistema executará em um PC e enviará os comandos via *Bluetooth* para o NXT assim que identificado pelo programa.

3.2 LEGO Mindstorms Education NXT

É um kit de robótica educacional utilizado para desenvolver habilidades em Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática de uma forma prática que auxilia na criatividade e no raciocínio, entre outras habilidades (GROUP, 2006). Na figura 3.1 é possível observar o bloco NXT, que é o controlador do robô.

O LEGO NXT conta com microprocessador 32-bit ARM7, 256 Kbytes FLASH, 64 Kbytes RAM, microprocessador 8-bit, 4 Kbytes FLASH, 512 Byte RAM, comunicação *bluetooth wireless*, conforme o *Bluetooth* classe II V2.0, porta USB 2.0, quatro portas de entrada (1, 2, 3, 4) que são utilizadas pelos sensores, três portas de saída (A, B, C) que são utilizadas pelos motores, monitor com matriz de pontos, 60 x 100 pixels e alto falante com qualidade de som 8 KHz.

Para a montagem do robô utilizou-se 2 (dois) kits LEGO diferentes, o LEGO Mindstorms



Figura 3.1: Bloco NXT

Education 9695, que contém 817 peças, e o LEGO Mindstorms Education 9797, que contém 437 peças, que são os kits disponíveis no laboratório para uso.

3.3 MATLAB

MATLAB é uma abreviação para *matrix laboratory* (laboratório de matriz). O MATLAB é uma linguagem de alto nível e é usada por milhões de engenheiros e cientistas do mundo todo. A linguagem baseada em matriz é uma forma natural de expressar a matemática computacional. Os códigos nesta linguagem podem ser integrados com outras linguagens, permitindo ao usuário desenvolver algoritmos e aplicações web, corporativos e de produção (MATHWORKS, 2019).

Na figura 3.2 observa-se a interface de trabalho do programa. Optou-se pelo MATLAB pois foi a linguagem utilizada no sistema base que será utilizado no trabalho. A versão utilizada do software é a R2018a.

3.4 RWTH - Mindstorms NXT Toolbox

Essa *toolbox* foi desenvolvida para controlar robôs LEGO Mindstorms NXT com MATLAB através de uma conexão USB ou *wireless Bluetooth* e proporciona funções MATLAB para interagir diretamente com o robô. Este conceito de controle remoto permite combinar aplicações

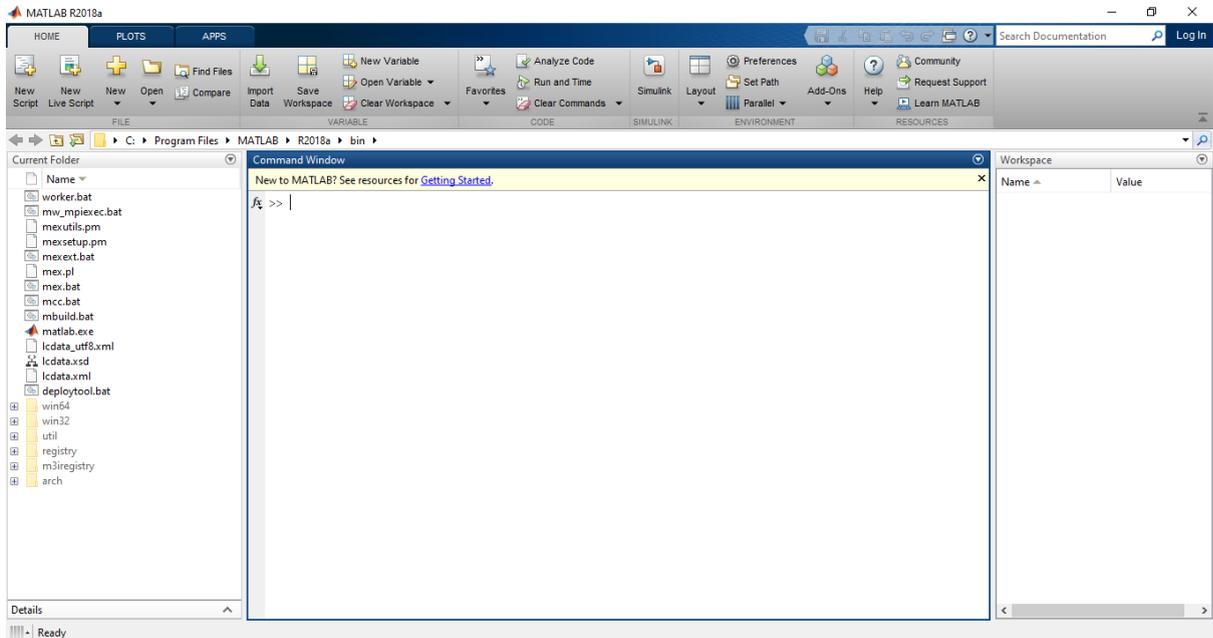


Figura 3.2: Interface do MATLAB

de robô com operações e visualizações matemáticas complexas no MATLAB (RWTH, 2019).

A RWTH possui código aberto e o desenvolvimento foi motivado por um projeto de estudantes da Universidade de Aachen - *MATLAB meets LEGO Mindstorms* - para estudantes de engenharia elétrica e, portanto, projetado principalmente para fins educacionais (RWTH, 2019).

A RWTH conta com o tamanho do programa virtualmente ilimitado, é estável e foi testada com sucesso por mais de 300 estudantes usando mais de 75 robôs NXT e 150 computadores executando vários sistemas operacionais (RWTH, 2019). A versão utilizada neste trabalho é a 4.07.

3.5 LEGO Digital Designer

É um software que foi desenvolvido pela LEGO que permite construir modelos com blocos virtuais LEGO (LEGO, 2019). Auxilia na montagem e visualização de projetos. O programa foi utilizado para a elaboração do manual de montagem do protótipo.

Na figura 3.3 observa-se a interface de trabalho do programa. A versão utilizada é a 4.3. É um software livre, porém a LEGO não oferece mais suporte ou atualizações para o programa desde janeiro de 2016 (MONTES, 2016).

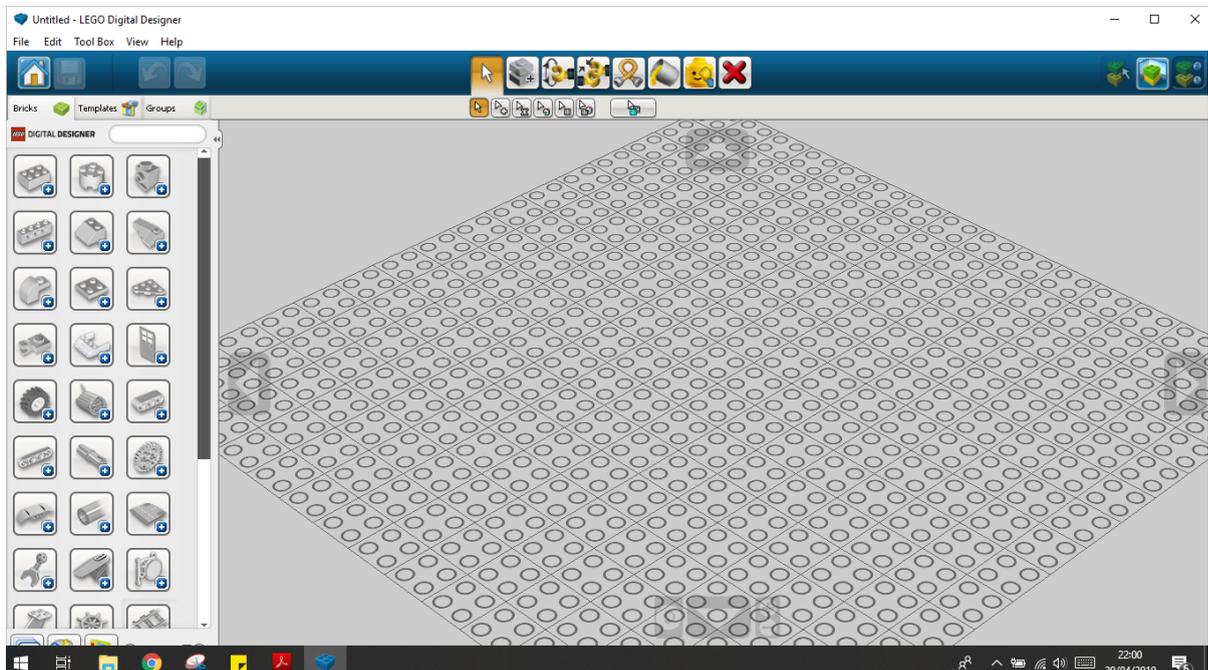


Figura 3.3: Interface do LEGO Digital Designer

3.6 Captação do Som

A captação do som foi feita de duas formas: usando o microfone da *Webcam Microsoft LifeCam HD-5000* que é a mesma utilizada para treinar e testar o sistema de Oliveira (2018); e um *Headset Cooler Master Ceres 500*.

3.7 Protótipo

O protótipo foi inspirado no modelo *Express-Bot Robot Base*, projeto disponibilizado na página *NXT Programs* (PARKER, 2019).

Na figura 3.4 é possível observar o protótipo desenvolvido e no apêndice A é encontrado o passo-a-passo da montagem do robô utilizado nos experimentos.

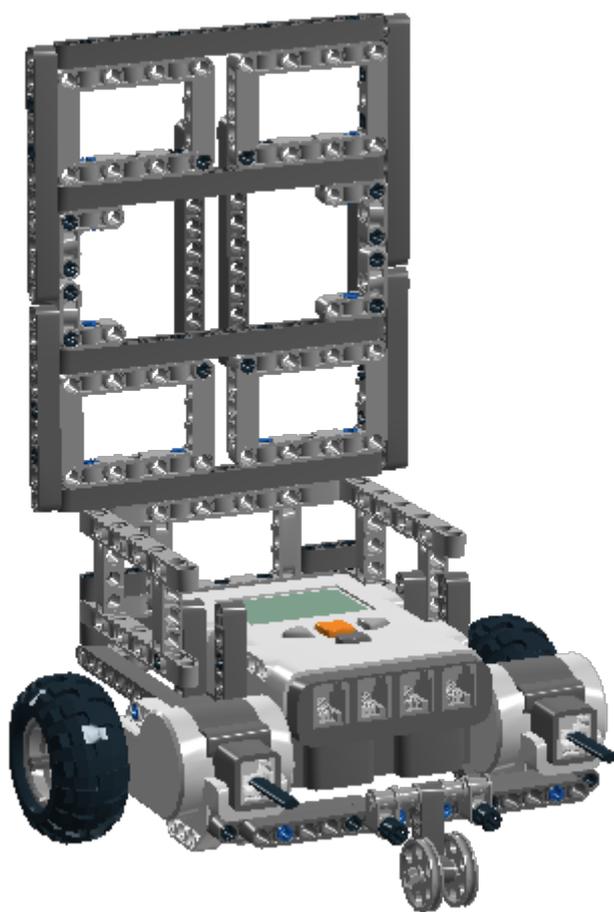


Figura 3.4: Protótipo do robô desenvolvido no LEGO Digital Designer

Capítulo 4

Implementação e testes

Para que o robô executasse os comandos informados, foram utilizados os comandos relacionados à conexão *Bluetooth* e à rotação do motor disponíveis na *toolbox* RWTH (sessão 3.4). As funções podem ser observadas no apêndice C. As alterações do código base de Oliveira (2018) foram feitas apenas no arquivo principal do sistema.

4.1 Conexão *Bluetooth*

Como a versão do *Bluetooth* do NXT é antiga (2.0), o computador leva aproximadamente 16 segundos para se conectar ao bloco. Porém, basta fazer a conexão antes de iniciar o programa e a conexão se manterá até que o bloco NXT seja desligado. Depois de conectado é necessário compilar o programa e então os comandos serão enviados do PC para o *Brick* assim que uma palavra for reconhecida. O passo-a-passo para realizar a conexão *Bluetooth* entre o computador e o *brick* pode ser encontrado no apêndice B.

4.2 Funcionamento

Na figura 4.1 é apresentado o processo do funcionamento do programa: realiza-se a conexão *Bluetooth* através da *Command Window* do MATLAB e executa-se o arquivo principal. Para que uma palavra seja reconhecida deve-se clicar no botão ‘Gravar’ (figura 4.2), falar a palavra desejada, clicar no botão ‘Parar’ (figura 4.3) e aguardar até que a tradução seja realizada. Depois, o comando referente à palavra reconhecida será enviado para o *brick*.

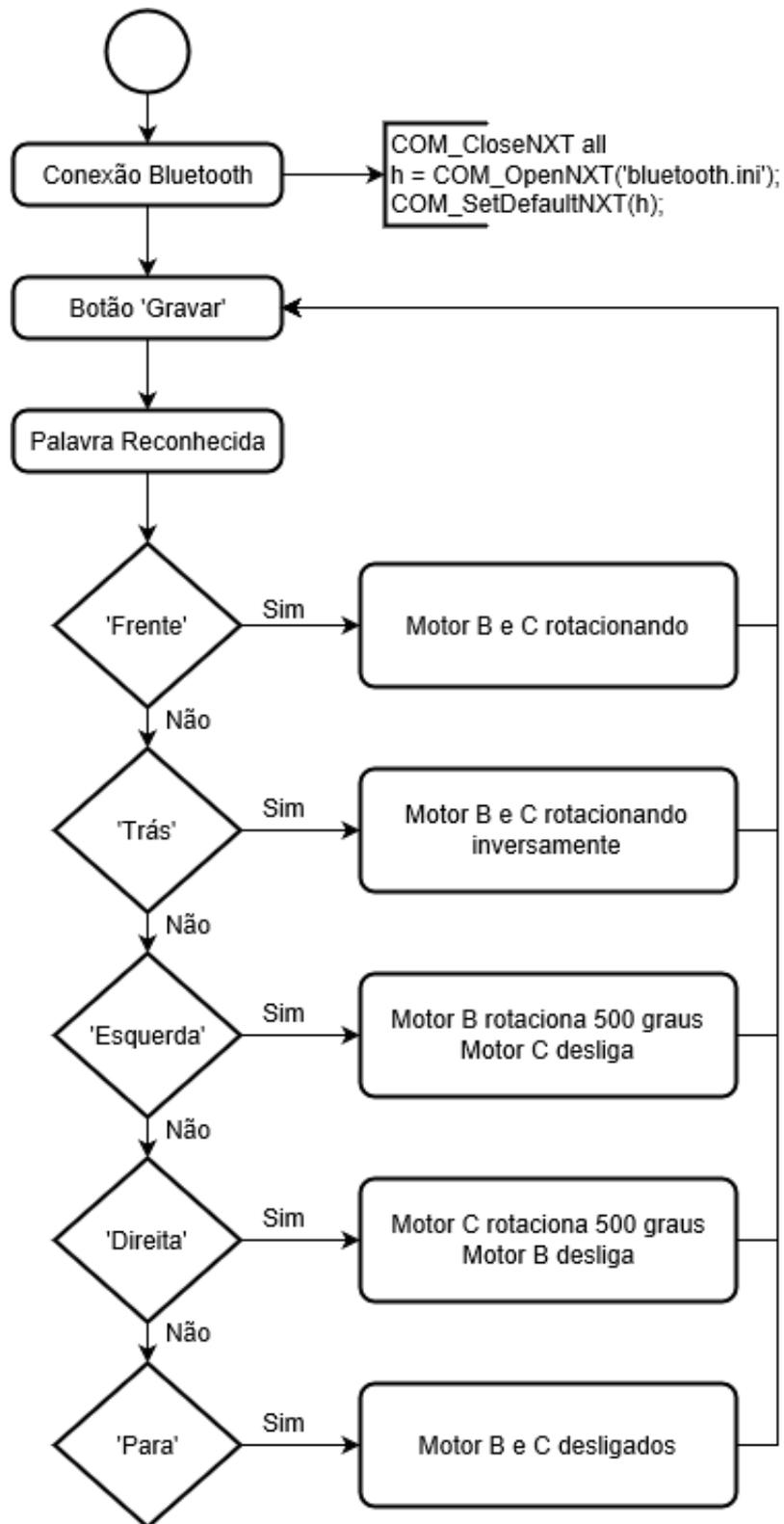


Figura 4.1: Fluxograma da Implementação

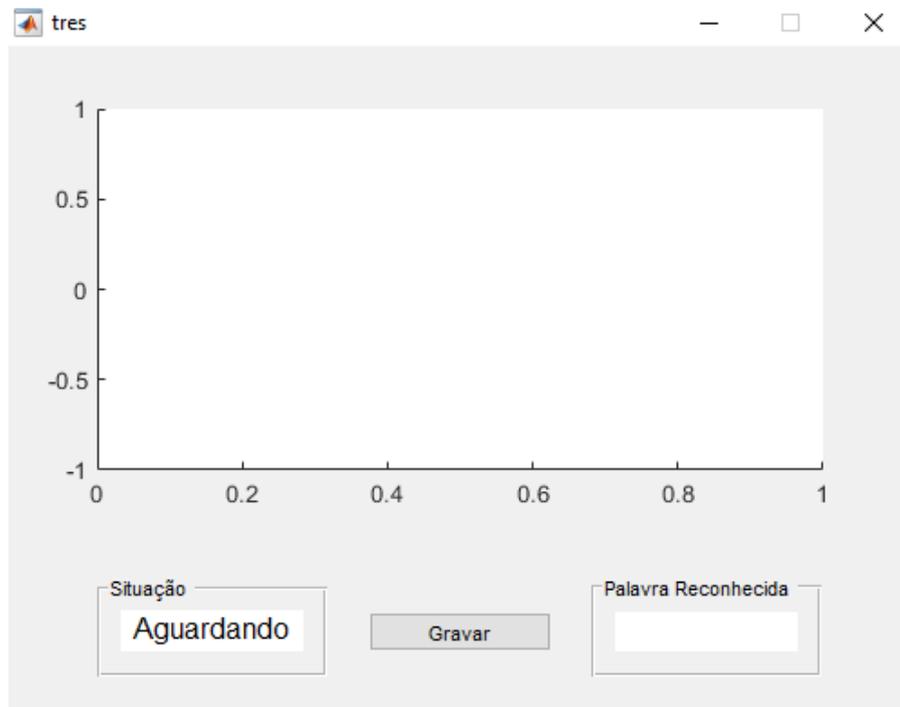


Figura 4.2: Tela inicial do sistema

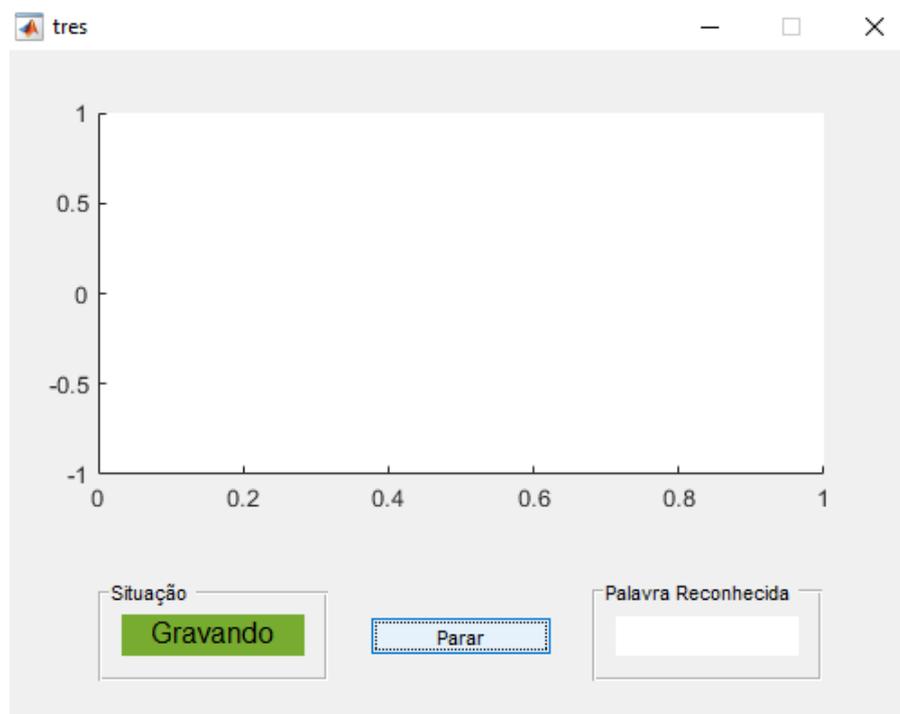


Figura 4.3: Tela do sistema enquanto uma palavra é falada

4.3 Testes

Para a realização dos testes não foi encontrada uma solução para remover o botão de 'Gravar/Parar'. Também não foram incluídos sensores de toque pois foi levado em conta o alto custo caso seja implementado em uma cadeira de rodas real.

Os testes foram realizados da seguinte forma:

1. Foram gerados dez roteiros utilizando as palavras (frente, trás, esquerda, direita, para) de forma aleatória, cada roteiro com 10 comandos. Os roteiros podem ser encontrados na tabela 4.1.
2. Os testes foram realizados em dois ambientes: um interno, no laboratório LRI e; outro externo, no estacionamento da universidade, com ruídos.
3. Os testes foram realizados com dois captadores som: microfone da *webcam* e o *headset*.
4. Não foi dada instrução sobre como as palavras deveriam ser pronunciadas, logo, a entonação e separação silábica pode ter sido diferente da forma com que o sistema foi treinado.
5. 46 (quarenta e seis) pessoas participaram dos testes.

Tabela 4.1: Roteiros utilizados

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
direita	frente	trás	frente	esquerda	trás	frente	esquerda	frente	frente
esquerda	direita	esquerda	direita	trás	para	direita	direita	direita	trás
trás	direita	frente	trás	para	esquerda	trás	trás	trás	frente
esquerda	frente	trás	frente	direita	trás	direita	para	frente	trás
direita	direita	direita	trás	frente	para	esquerda	frente	direita	frente
frente	esquerda	trás	para	esquerda	frente	direita	esquerda	frente	para
para	trás	para	direita	trás	direita	frente	direita	para	esquerda
direita	para	direita	frente	direita	frente	para	frente	esquerda	esquerda
direita	esquerda	esquerda	para	frente	direita	trás	para	trás	trás
esquerda	direita	direita	esquerda	esquerda	esquerda	para	esquerda	para	direita

4.3.1 Resultados

Os resultados dos testes podem ser observados na tabela 4.2, onde são apresentadas as porcentagens de acerto do sistema de acordo com o ambiente, forma de captação do som e sequência.

Tabela 4.2: Porcentagens de Acerto

Categoria	Porcentagem
Ambiente Interno com <i>WebCam</i>	73,75%
Ambiente Interno com <i>HeadSet</i>	64,00%
Ambiente Externo com <i>WebCam</i>	70,00%
Ambiente Externo com <i>HeadSet</i>	81,00%
Sequência 1	78,00%
Sequência 2	62,50%
Sequência 3	72,50%
Sequência 4	72,00%
Sequência 5	70,00%
Sequência 6	60,00%
Sequência 7	80,00%
Sequência 8	80,00%
Sequência 9	72,00%
Sequência 10	76,00%
Total	72,39%

As figuras 4.4 e 4.5 mostram, a partir de matrizes de confusão, os erros e acertos do sistema no reconhecimento, onde: F - Frente; T - Trás; E - Esquerda; D - Direita; e P - Para.

		Comando esperado				
		F	T	E	D	P
Comando Reconhecido	F	96	7	13	22	25
	T	2	73	2	2	25
	E	0	5	66	6	3
	D	0	0	11	84	1
	P	0	2	0	0	15

Figura 4.4: Matriz de confusão contendo todos os testes

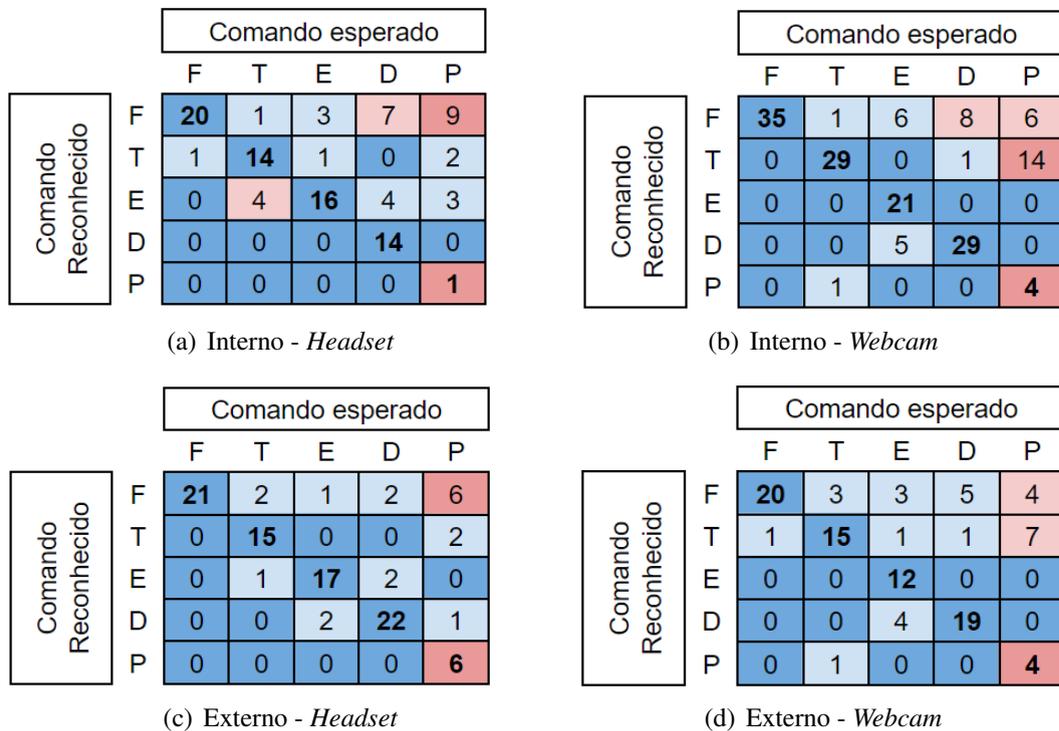


Figura 4.5: Matrizes de confusão dos testes

É possível verificar que o comando ‘frente’ é o mais reconhecido corretamente e ao mesmo tempo o mais retornado como resposta pelo sistema. Ao contrário, a instrução ‘para’ possui um baixo reconhecimento, visto que a quantidade de vezes em que foi confundida com as palavras ‘frente’ e ‘trás’ são superiores ao reconhecimento correto deste comando, ademais, raramente é confundida com outro comando.

Em relação ao desempenho dos meios de captação de som, o *headset* foi superior no ambiente externo enquanto o uso da *webcam* foi mais favorável no espaço interno.

Como as pessoas que participaram dos testes não receberam orientação sobre como os comandos deveriam ser pronunciados, isto influenciou no reconhecimento do sistema.

Outra análise relacionada a possíveis interferências no reconhecimento refere-se ao intervalo de tempo entre cliques no botão e instruções. Quando o tempo entre o clique do botão ‘Gravar’, a fala do comando e o clique no botão ‘Parar’ foi inferior ao adequado, o sistema apresentou dificuldades no reconhecimento devido à não captura completa da palavra. Em outro cenário, quando uma instrução era dada imediatamente após outra, notou-se dificuldade no processamento do sistema.

No apêndice D é possível verificar a variabilidade dos resultados: em alguns testes o reco-

nhecimento atingiu 100% enquanto em outros alcançou apenas 40%. A razão desta oscilação provém da forma como os comandos foram pronunciados ou ainda da utilização do sistema - clique no botão antes ou no meio de uma instrução.

Com o decorrer dos testes, foi analisado que a distância ideal entre o microfone e o locutor é de aproximadamente 15 centímetros.

Capítulo 5

Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Para auxiliar a rotina das pessoas com tetraplegia, foi realizado um estudo para encontrar uma alternativa para ajudar na locomoção com uma cadeira de rodas motorizada. Para isto, a cadeira foi simulada em um robô montado com peças LEGO utilizando um sistema para reconhecimento de voz, que se comunica com o robô via *Bluetooth*.

Para testar a viabilidade do protótipo, foram realizados testes com quarenta e seis participantes, a partir de 10 sequências, cada uma delas contendo 10 comandos, em dois ambientes, um interno e outro externo, e duas formas de captação do som, *Webcam* e *Headset*.

Com a realização dos testes, foi obtido uma porcentagem de acerto de 72,39%, inferior a porcentagem obtida por Oliveira (2018) em seu trabalho (88%). Isto está relacionado ao fato da ausência de orientações quanto a forma de pronunciar as palavras na hora dos testes.

Além disso, o período de tempo entre o clique do botão ‘Gravar’, o comando, o clique no botão ‘Parar’ e novamente o clique no botão ‘Gravar’ também mostrou grande influência, pois em alguns casos o sistema não capturou o comando inteiro, ou enquanto processava uma instrução, em pouco tempo estava recebendo outra.

Certamente o sistema ainda não é seguro para ser utilizado em um caso real, onde o tetraplégico dependa integralmente dos comandos para se locomover. Porém se melhorado, é um recurso que poderá ser um grande auxílio para os tetraplégicos e quem mais possa ser beneficiado com este recurso.

Algumas sugestões de trabalhos futuros:

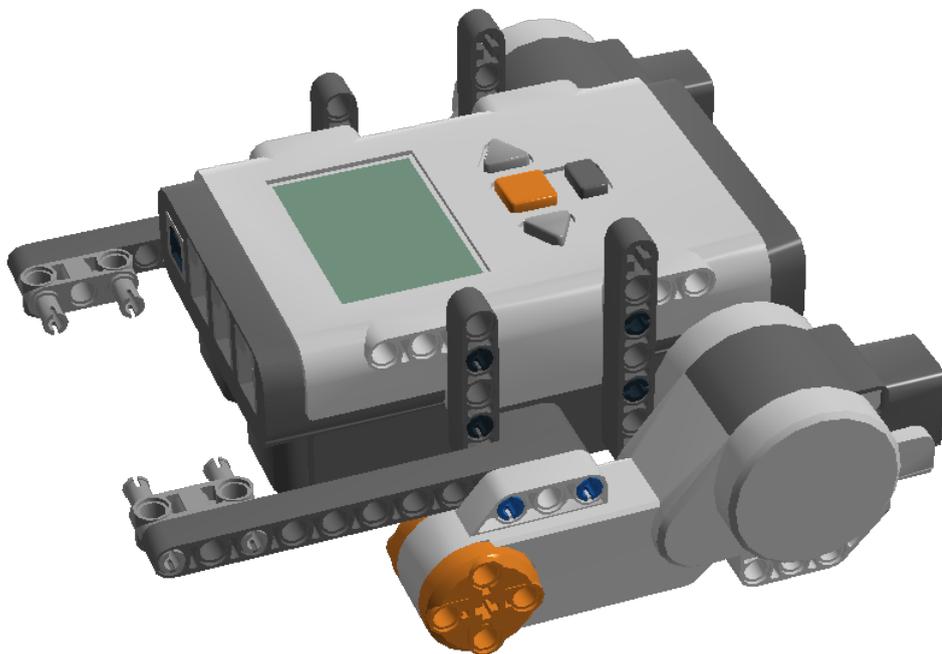
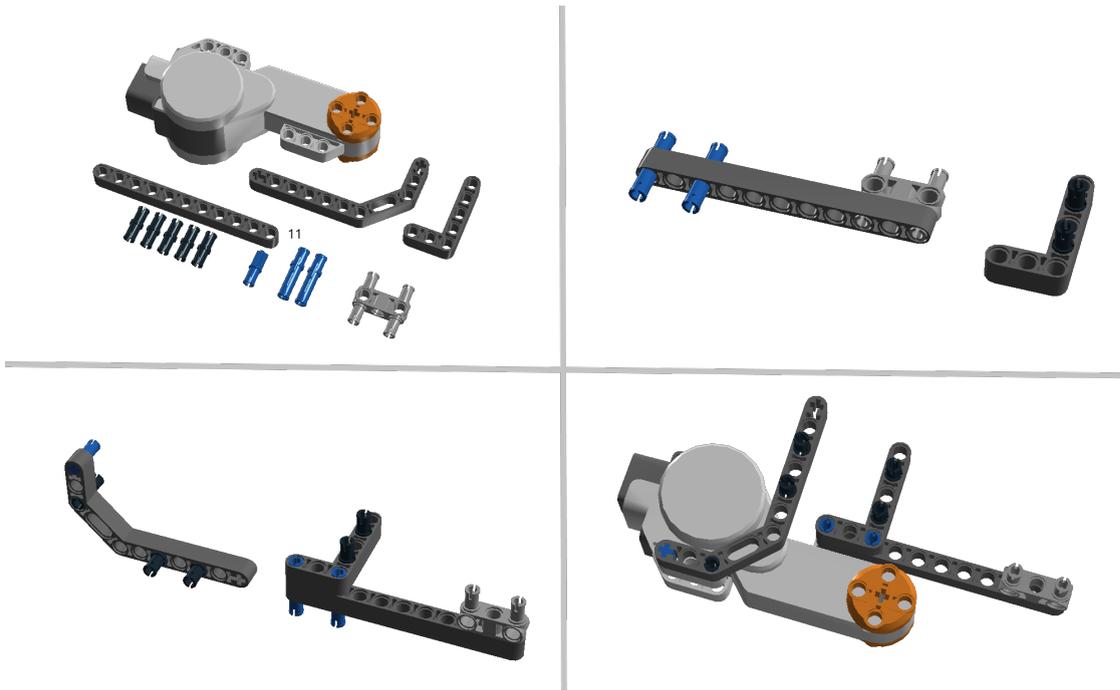
- Treinar o sistema novamente, realizando capturas de voz em ambiente externo, com um maior número de pessoas e também incluindo novos comandos, como por exemplo, para controle da potência do motor, ou até substituir o comando 'Para' por algum semelhante.
- Adaptar o protótipo para outro modelo reconhecedor e assim comparar o desempenho dos sistemas.
- Como alternativa para remoção do botão 'Gravar/Parar', estudar a utilização de técnicas modernas de processamento de fala para identificar um novo comando, como por exemplo, *Ok Google* e *Hey Alexa*.
- Adaptar o sistema para uma cadeira de rodas real avaliando a efetividade da tecnologia, permitindo que uma pessoa tetraplégica possa avaliar os benefícios da mesma. Desta forma, é possível verificar a viabilidade de execução do projeto e a utilidade da adaptação, ou ainda a inclusão de novas funcionalidades.

Apêndice A

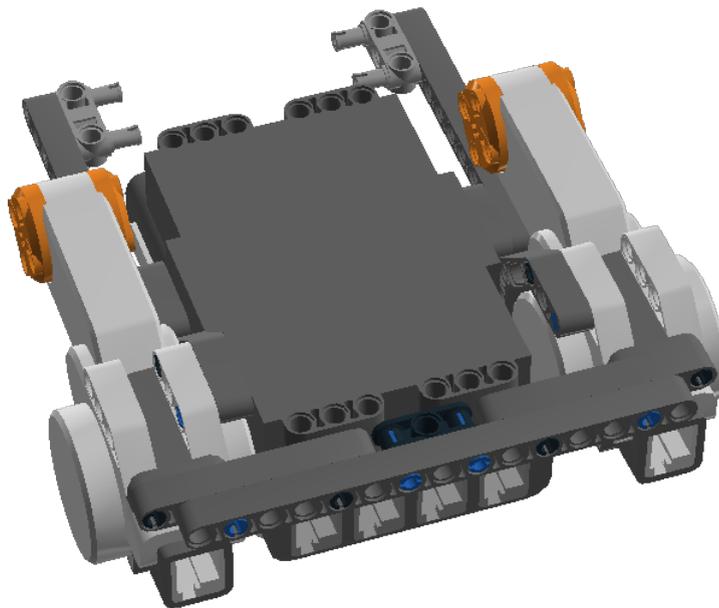
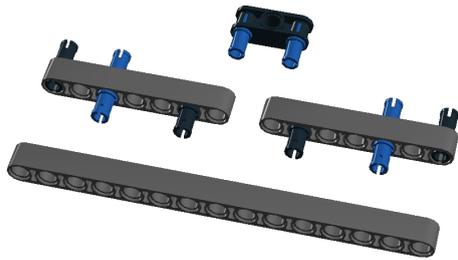
Montagem do robô

Neste capítulo é detalhado o passo a passo para a montagem do protótipo utilizando kits LEGO. Inicialmente foi montada a base do robô e então a parte do encosto da cadeira.

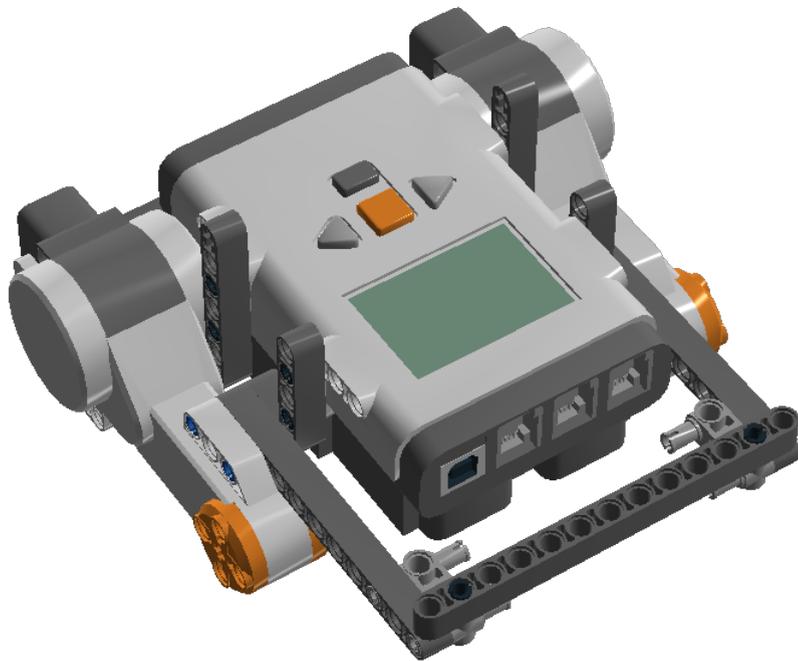
Passo 2



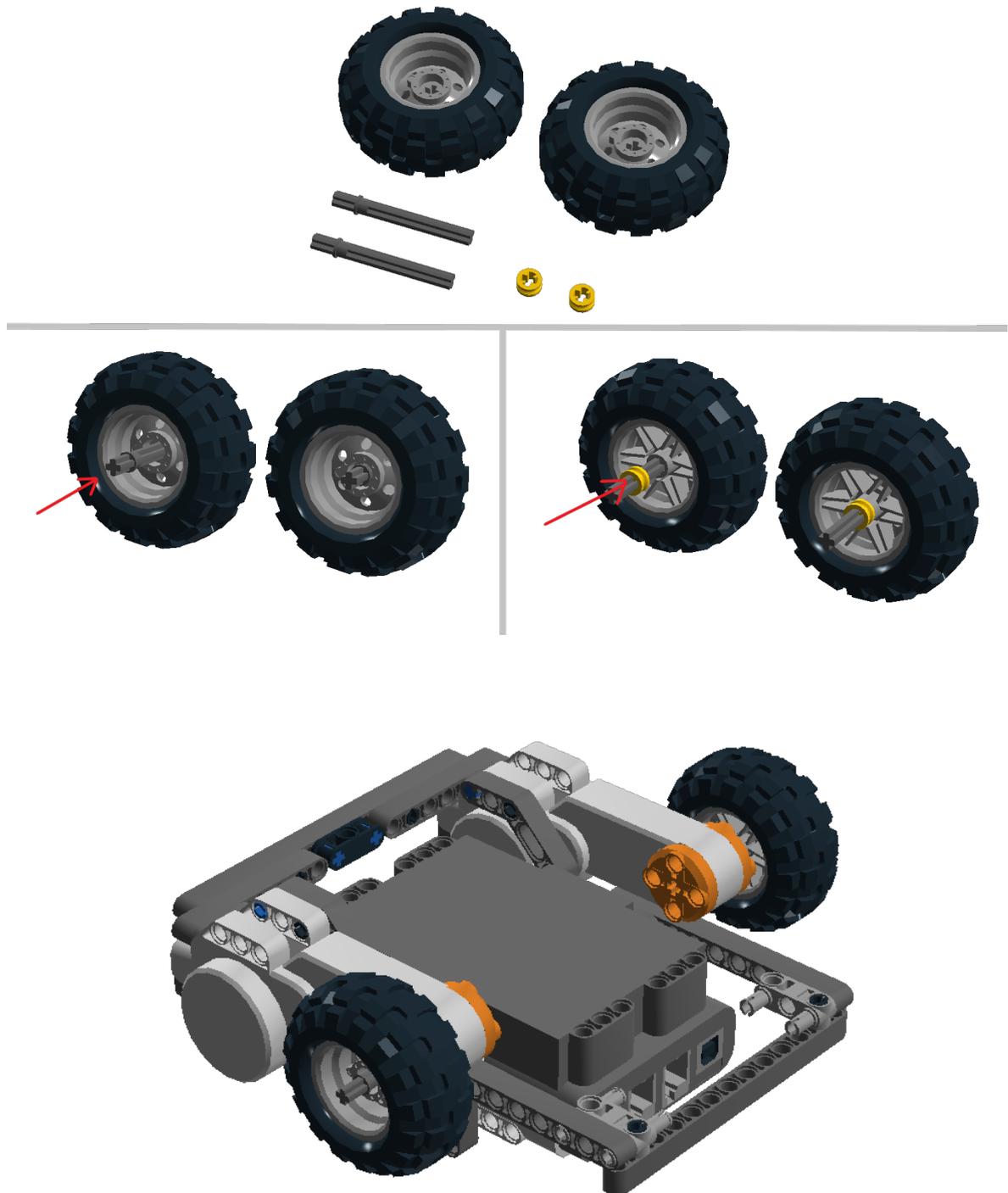
Passo 3



Passo 4

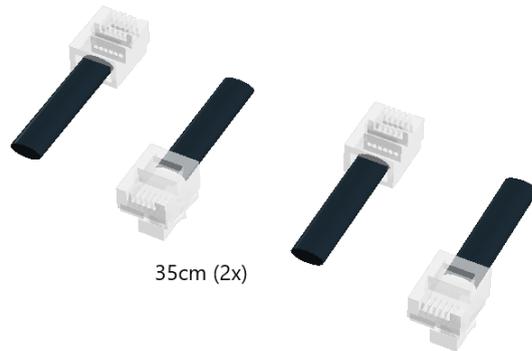


Passo 5

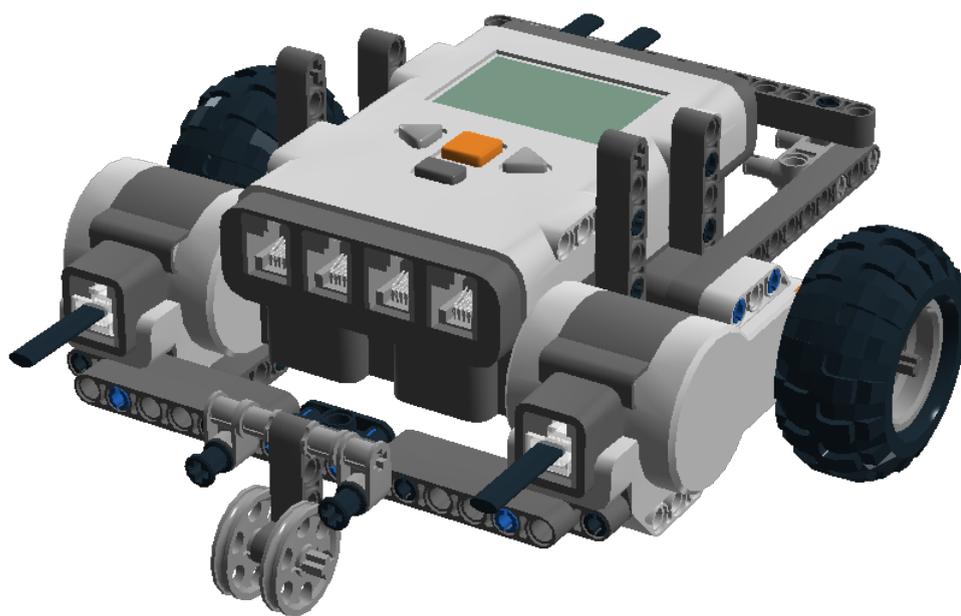


Passo 6

Neste passo são necessários dois cabos de 35 centímetros. Um deles será ligado ao motor direito, na porta C, e o outro ao motor esquerdo, na porta B.

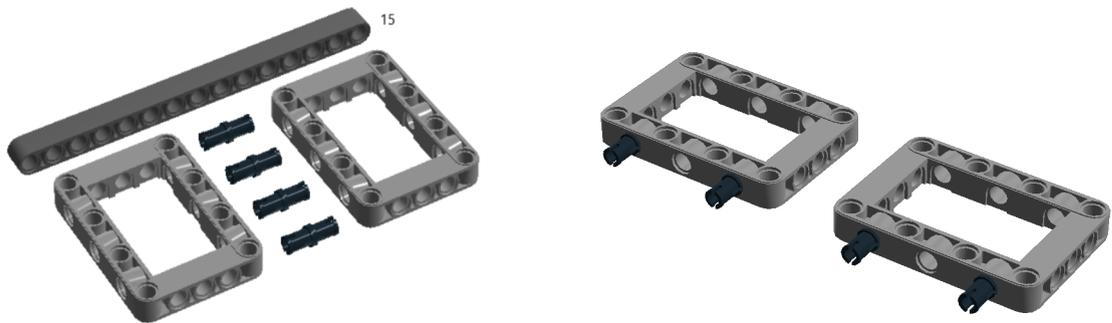


Passo 7

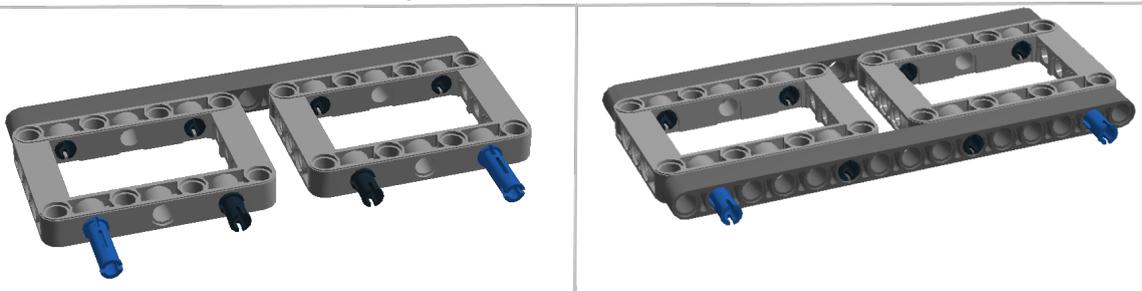


A.2 Montagem do Encosto

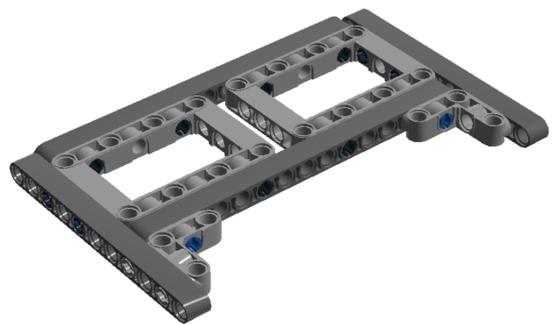
Passo 8



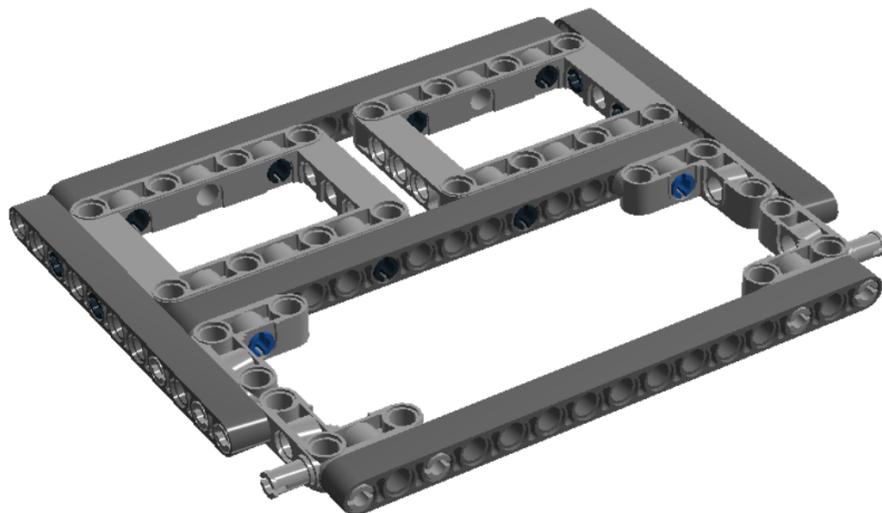
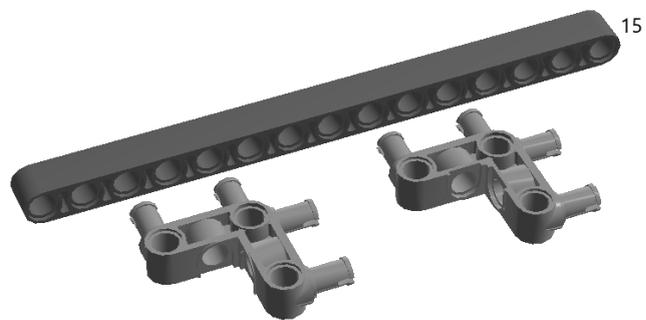
Passo 9



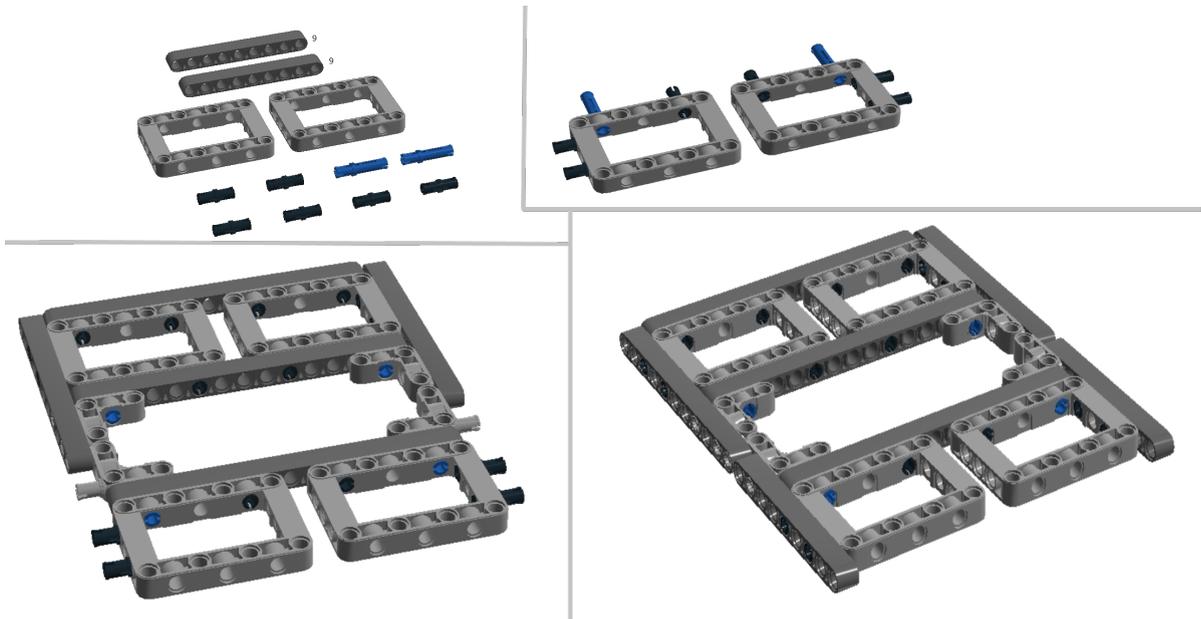
Passo 10



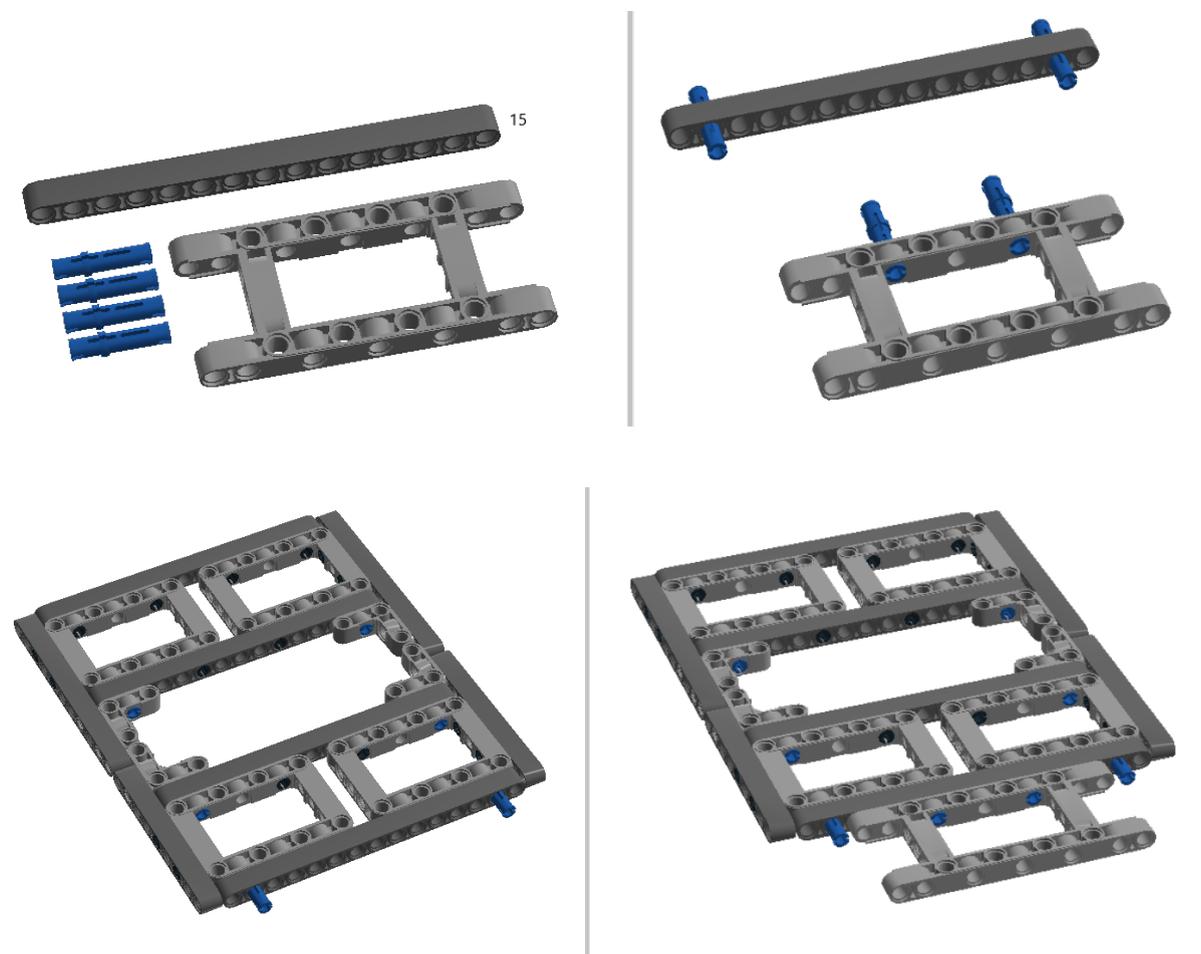
Passo 11



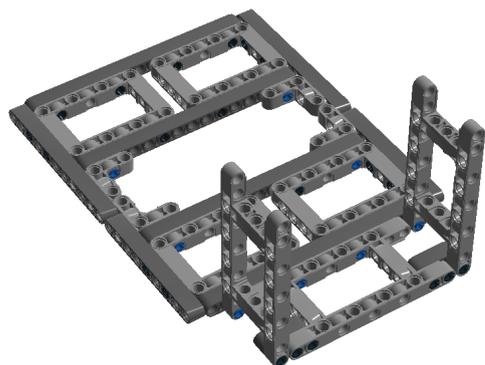
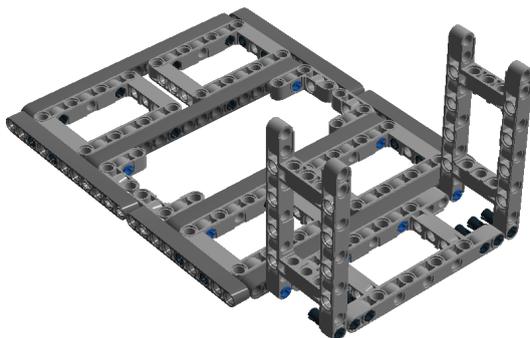
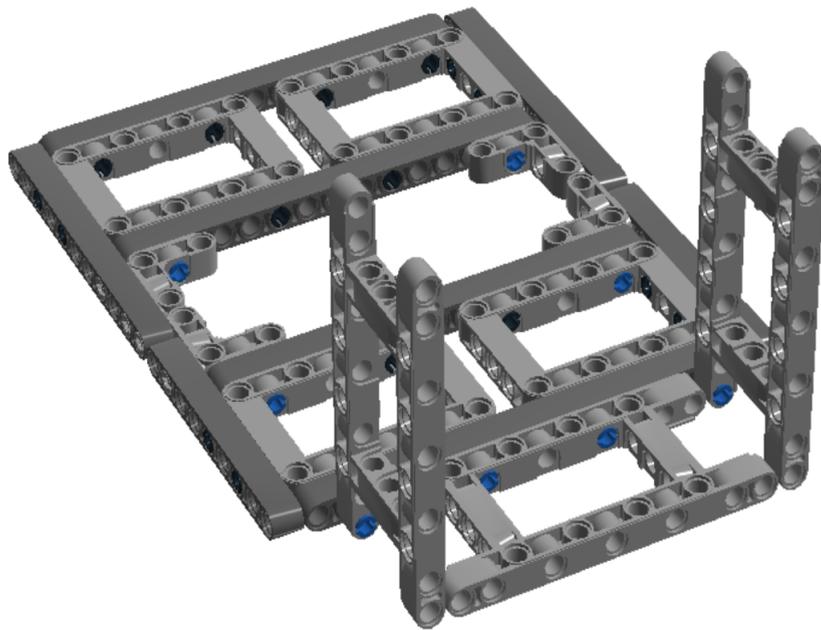
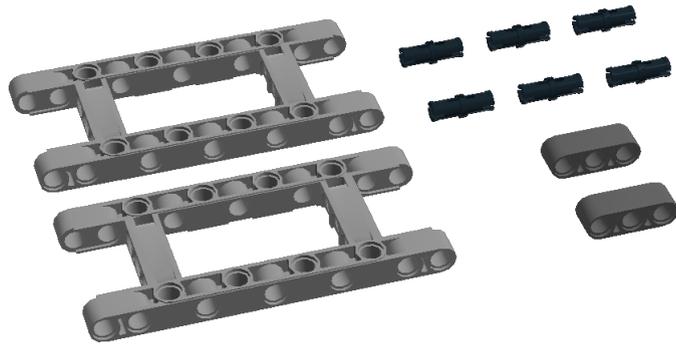
Passo 12



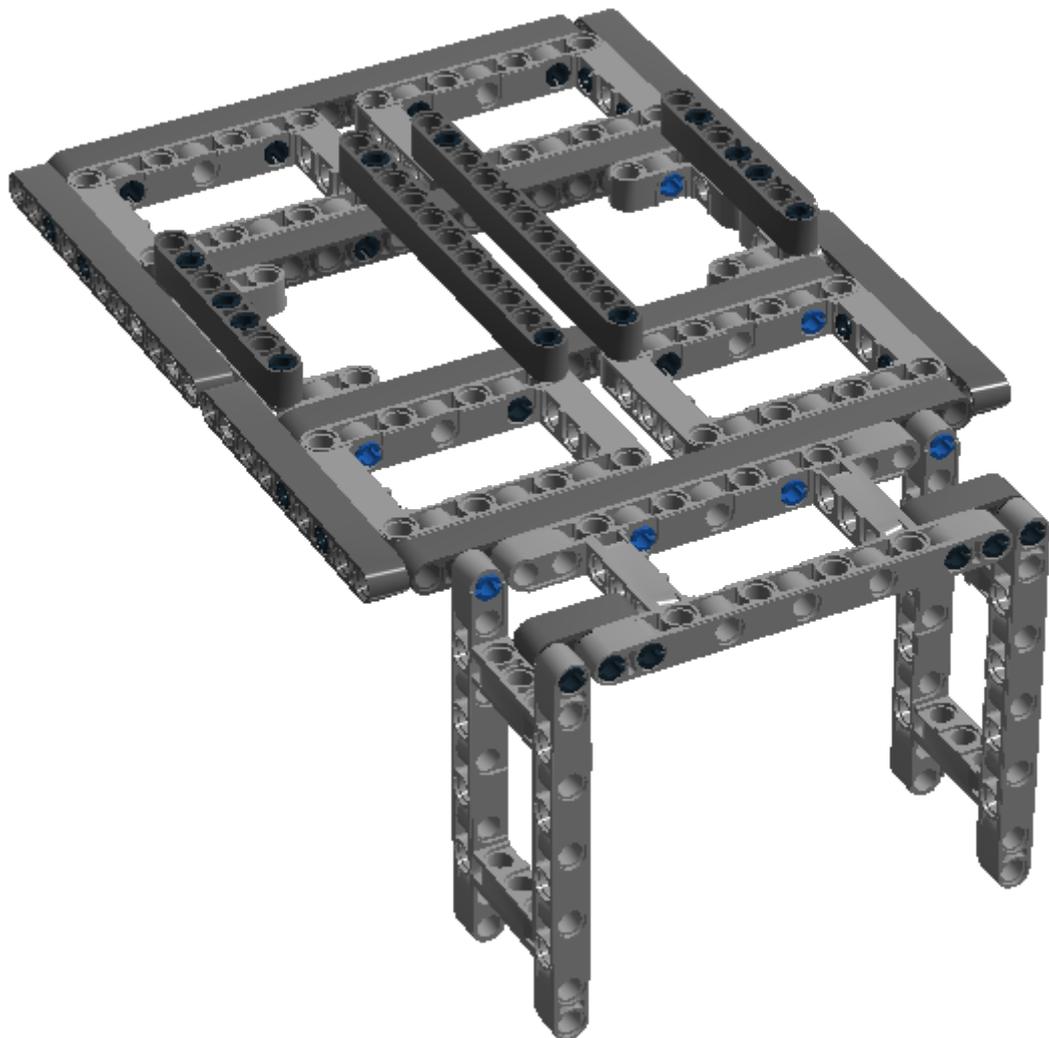
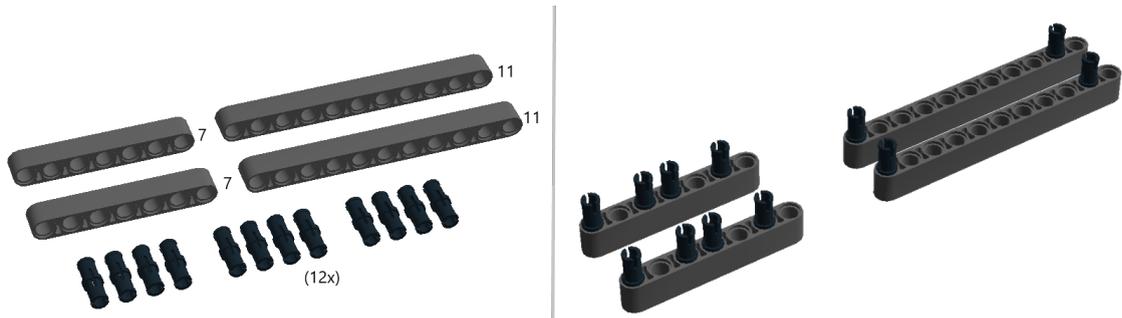
Passo 13



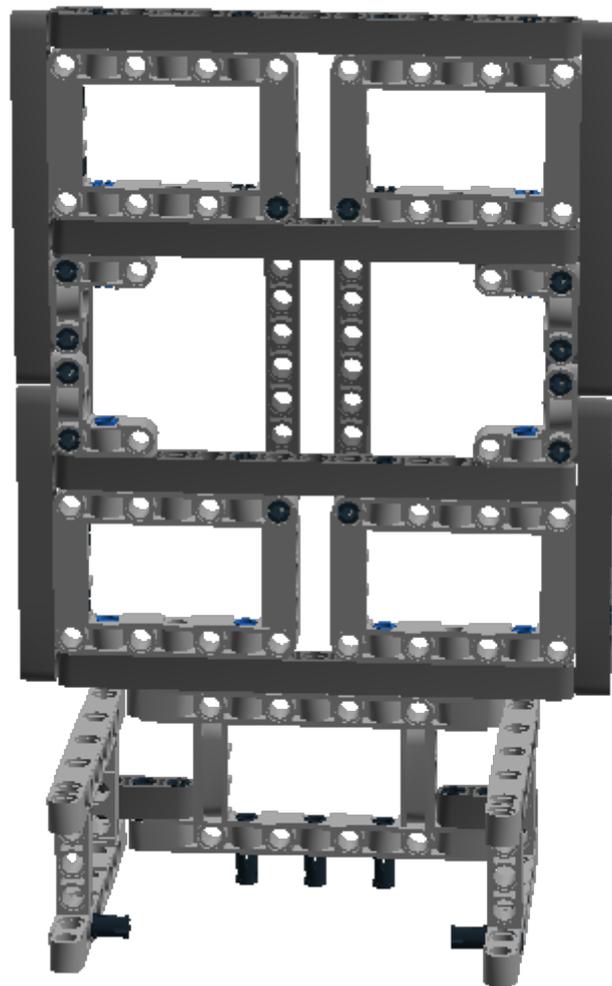
Passo 14



Passo 15



Passo 16

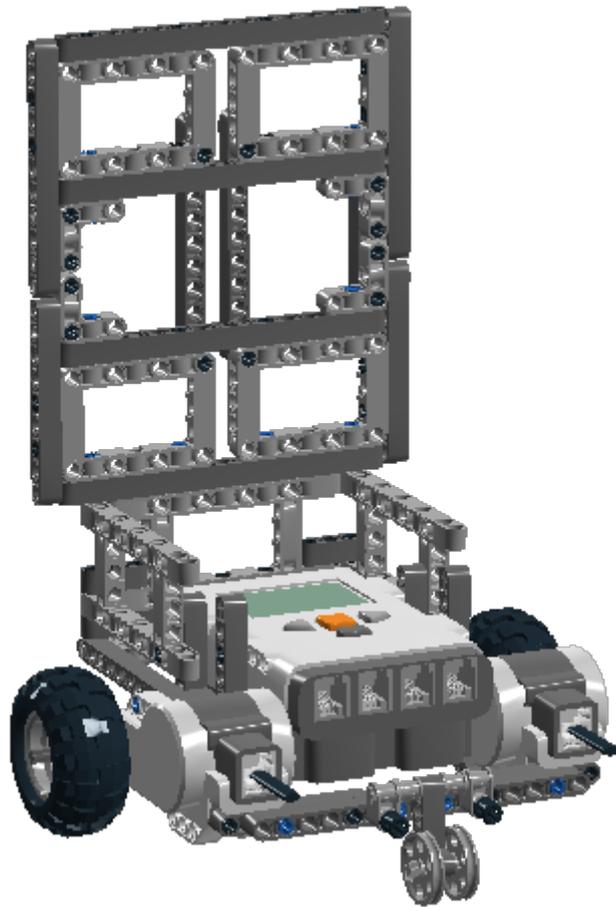


A.3 Protótipo Final

Passo 17

Com a base do robô e a parte do encosto finalizados, é necessário unir as duas partes.





Apêndice B

Conexão *Bluetooth* entre PC e NXT

Para fazer uma conexão *Bluetooth* entre o computador e o NXT siga os passos a seguir.

1. Baixar e instalar o MATLAB.
2. Baixar a ferramenta RWTH, disponível no link <https://www.mindstorms.rwth-aachen.de/trac/wiki/Download> e extrair os arquivos.
3. No MATLAB ir em 'Environment' -> 'Set Path' -> 'Add Folder' -> Encontrar o local onde foi extraído o RWTH e adicionar a pasta 'RWTHMindstormsNXT' e a subpasta 'tools' e clicar no botão 'Save'.
4. Baixar o NXT Firmware disponível no link https://www.lego.com/r/www/r/mindstorms/-/media/franchises/mindstorms%202014/downloads/firmware%20and%20software/nxt%20software/firmware131_download1.zip?l.r2=798380141.
5. Baixar o NeXTTool disponível no link <http://bricxcc.sourceforge.net/utilities.html> e salvar na pasta RWTHMindstormsNXT/tools/MotorControl.
6. Conectar o *brick* e o computador pelo cabo USB.
7. Use o NeXTTool para baixar o MotorControl * .rx (deve haver apenas um) para o seu NXT. No Windows, chame TransferMotorControlBinaryToNXT.bat e siga as instruções na tela.
8. Verificar se possui os *softwares* necessários:

- Windows 32 Bits: Libusb_win32 ou NXT Fantom Driver instalado.

- Windows 64 Bits: Libusb_win32 instalado.
 - libusb_win32 disponível no link <http://www.libusb.org/wiki/libusb-win32>.
 - Fantom disponível no link <https://www.lego.com/r/www/r/mindstorms/-/media/franchises/mindstorms%202014/downloads/firmware%20and%20software/nxt%20software/nxt%20fantom%20drivers%20v120.zip?l.r2=-964392510>.
9. Para fazer a conexão certifique-se de que o *Bluetooth* do seu computador e do *brick* NXT estejam ligados.
 10. No MATLAB, na *Command Window*, insira o comando `COM_MakeBTConfigFile` para criar um arquivo de configuração *Bluetooth*, selecione a pasta do projeto para criar o arquivo. Na tela que abrirá apenas clique no botão 'OK'.
 11. Novamente na *Command Window* insira o comando `h = COM_OpenNXT('bluetooth.ini')`.
 12. Neste momento a conexão *Bluetooth* será feita entre o computador e o *brick* NXT. Leva aproximadamente 16 segundos para que a conexão seja feita. Quando isso acontecer, no *brick*, ao lado do símbolo do *Bluetooth* será mostrado o símbolo <>.
 13. E por fim, insira o comando `COM_SetDefaultNXT(h)`.

Caso tenha ocorrido algum problema, os links abaixo podem ser consultados:

- <https://www.mindstorms.rwth-aachen.de/trac/wiki/Download4.07>.
- https://www.clemson.edu/cecas/departments/ece/document_resource/undergrad/matlab/RWTH_Setup.pdf.
- http://www.clemson.edu/cecas/departments/ece/document_resource/undergrad/matlab/Lab%20Manual.pdf.
- <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgcEcAE/programacao-lego-mindstorms-nxt-2-0-utilizando-matlab?part=2>.

Apêndice C

Funções RWTH utilizadas

Tabela C.1: Funções RWTH utilizadas

Função	Descrição	Sintaxe
COM_CloseNXT	Fecha e apaga um <i>handle</i> NXT específico, ou limpa todos os <i>handles</i> existentes.	COM_CloseNXT(<i>handle</i>); COM_CloseNXT('all'); COM_CloseNXT('all', inifilename);
COM_OpenNXT	Abre uma conexão UBS ou <i>Bluetooth</i> para um dispositivo NXT e retorna um <i>handle</i> .	<i>handle</i> = COM_OpenNXT(); <i>handle</i> = COM_OpenNXT(inifilename);
COM_SetDefaultNXT	Define um <i>handle</i> NXT padrão (será usado por outras funções como padrão)	COM_SetDefaultNXT(h);
NXTMotor	Constrói um objeto NXTMotor	M = NXTMotor(); M = NXTMotor(PORT); M = NXTMotor(PORT, 'PropName1', PropValue1, 'PropName2', PropValue2, ...);
Power	Inteiro de -100 até 100, define a potência e a direção de rotação (se o número é negativo a rotação é inversa)	OBJ.Power;
TachoLimit	Inteiro de 0 até 999999, especifica o ângulo em graus em que o motor tentará alcançar, defina 0 para executar para sempre. Note que a direção é especificada pelo sinal do Power ¹	OBJ.TachoLimit;
SendToNXT	Envia as configurações do motor para o brick NXT	OBJ.SendToNXT; OBJ.SendToNXT(<i>handle</i>);

¹Caso o Power seja definido com um sinal negativo (ex: -50), a direção de rotação do motor será anti-horária, caso contrário será horária.

Apêndice D

Testes Executados

A seguir, são apresentados os resultados obtidos nos testes, onde cada coluna representa uma execução e o número acima da coluna indica a sequência correspondente. Cada célula contém uma letra que indica o comando reconhecido, onde: F - frente; T - trás; E - esquerda; D - direita; P - para. As cores mostram se o sistema reconheceu corretamente (verde) ou não (vermelho).

Tabela D.1: Resultados Obtidos - Ambiente Interno com Webcam

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	6	4	10	8	9	1
D	F	T	F	E	T	F	E	F	F	T	F	F	E	F	D
D	D	D	D	T	T	F	D	D	T	F	F	T	D	F	E
T	D	F	T	T	F	T	T	T	F	D	F	F	T	T	T
E	F	T	F	D	T	F	P	F	T	T	F	T	T	F	E
D	D	D	T	F	T	E	F	D	F	F	T	F	F	D	D
F	E	P	T	E	F	F	E	F	P	F	T	T	E	F	F
T	T	P	D	T	D	F	D	F	F	D	D	E	D	F	T
D	F	F	F	D	F	T	F	E	F	F	F	E	F	E	D
D	E	D	T	F	F	T	P	T	T	D	T	T	T	T	D
F	T	D	E	D	E	T	F	F	F	F	E	D	E	T	E

Tabela D.2: Resultados Obtidos - Ambiente Interno com Headset

10	3	6	4	7	8	9	1	2	5
F	T	T	F	F	E	F	D	F	E
T	E	F	E	E	D	D	E	F	T
F	F	E	T	T	T	T	T	F	F
E	T	E	F	D	F	F	E	F	F
F	D	F	E	E	F	F	D	F	F
E	T	F	P	D	E	F	F	E	F
E	F	F	D	F	D	E	F	T	E
E	D	F	F	T	F	T	D	F	E
T	E	E	F	T	F	F	D	F	T
F	D	E	E	T	F	E	E	D	E

Tabela D.3: Resultados Obtidos - Ambiente Externo com Headset

8	5	3	6	4	1	2	7	9	10
E	E	T	T	F	D	F	F	F	F
D	T	E	P	D	E	E	D	D	T
E	P	F	E	T	T	D	T	T	F
F	D	T	T	F	E	F	D	F	T
F	F	D	T	F	D	D	E	D	F
E	E	T	F	F	F	D	D	F	F
D	T	T	D	F	F	F	D	P	E
F	D	D	F	F	D	F	P	E	E
D	F	E	D	F	D	F	F	T	T
E	D	D	E	E	E	E	P	P	F

Tabela D.4: Resultados Obtidos - Ambiente Externo com Webcam

10	9	8	6	2	1	3	4	5	7
F	F	E	F	F	D	T	F	D	F
T	D	D	T	D	D	D	D	P	D
F	T	T	E	D	F	F	T	T	T
T	F	T	T	F	F	F	F	D	D
T	F	F	T	F	F	D	T	F	E
F	F	E	F	E	F	T	F	E	D
T	T	D	D	T	P	F	D	T	F
E	F	F	F	T	T	F	F	D	P
T	T	P	F	E	D	F	F	F	T
D	T	E	D	D	E	D	E	E	P

Referências Bibliográficas

ANTUNES, L. Tetraplegia. causas, tratamentos e a rotina de uma pessoa tetraplegica. *Revista Nacional de Tecnologia Assistiva*, v. 1, p. 43–49, Novembro 2009.

BROMLEY, I. *Paraplegia & Tetraplegia - Um Guia Teórico-Prático para Fisioterapeutas, Cuidadores e Familiares*. 4. ed. [S.l.]: Editora Revinter, 1997. ISBN 1000189049127.

CENSO, I. *Censo Demográfico 2000: Características gerais da população: Deficiência*. 2000. Disponível em: <ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2000/populacao/Brasil/>. Acesso em: 19 nov 2019.

CENSO, I. *Censo Demográfico 2010: População residente, por tipo de deficiência, segundo a situação do domicílio e os grupos de idade*. 2010. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_religiao_deficiencia/caracteristicas_religiao_deficiencia_tab_ods.shtm>. Acesso em: 19 nov 2019.

CENTER, S. *Types and Levels of Spinal Cord Injury*. 2019. Disponível em: <<https://www.shepherd.org/patient-programs/spinal-cord-injury/about/levels-and-types>>. Acesso em: 19 nov 2019.

ELLIS, M. *5 Essential Daily Routines for SCI Survivors*. 2017. Disponível em: <<https://www.spinalcord.com/blog/5-essential-daily-routines-for-sci-survivors>>. Acesso em: 19 nov 2019.

FRANKEL, H. L. et al. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. p. 179–192, Novembro 1969. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/sc196930.pdf>>. Acesso em: 19 nov 2019.

FURUI, S. *Digital Speech Processing, Synthesis and Recognition*. 2. ed. [S.l.]: Marcel Dekke, 1989. ISBN 0824779657.

GRAY, H. *Anatomy of the Human Body*. 1918. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray_111_-_Vertebral_column-coloured.png>. Acesso em: 19 nov 2019.

GROUP, L. *NXT User Guide*. 2006. Disponível em: <<https://www.generationrobots.com/media/Lego-Mindstorms-NXT-Education-Kit.pdf>>. Acesso em: 19 nov 2019.

JESUINO, T. Z. *Módulo Gerador de Planos de Rotas para um Sistema de Navegação Autônoma Baseado na Arquitetura AuRA*. Dissertação (Monografia) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Ciência da Computação, Cascavel, outubro 2012.

JOSÉ, M. A. *Interface Humano-Computador controlada pelo lábio*. Tese (Tese) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, São Paulo, agosto 2014. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7797372/authors#authors>>. Acesso em: 19 nov 2019.

LEGO. *ABOUT LEGO® DIGITAL DESIGNER*. 2019. Disponível em: <<https://www.lego.com/en-us/service/help/products/themes-sets/digital-designer/about-lego-digital-designer-40810000007854>>. Acesso em: 19 nov 2019.

LIMA, V. M. C. de; MALDONADO, A. E. De tetraplégico a ciborgue. uma reflexão sobre as possibilidades de interação e sociabilidade decorrentes do uso do computador. *GP Ciberculturas, XIII Encontro dos Grupos de Pesquisas em Comunicação*, p. 14, 9 2013. Disponível em: <<http://www.intercom.org.br/papers/nacionais/2013/resumos/R8-1261-1.pdf>>. Acesso em: 19 nov 2019.

LUND, M. E. et al. Inductive tongue control of powered wheelchairs. In: *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*. [s.n.], 2010. p. 3361–3364. ISSN 1094-687X. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5627923>>. Acesso em: 19 nov 2019.

MANICA, C. L. *Implementação de um módulo de reconhecimento de fala como interface de comando para robôs LEGO MINDSTORMS NXT 2.0*. Dissertação (Monografia) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Ciência da Computação, Cascavel, outubro 2014.

MATHWORKS. *MATLAB Documentation*. 2019. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/matlab/>>. Acesso em: 19 nov 2019.

MONTES, E. D. *LEGO Digital Designer officially defunded and unsupported*. 2016. Disponível em: <<https://www.brothers-brick.com/2016/01/21/lego-digital-designer-officially-defunded-and-unsupported-news/>>. Acesso em: 19 nov 2019.

OLIVEIRA, M. Q. de. *Reconhecimento de fala utilizando o Modelo Oculto de Markov*. Dissertação (Monografia) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Ciência da Computação, Cascavel, junho 2018.

PACNIK, G.; BENKIC, K.; BRECKO, B. Voice operated intelligent wheelchair - VOIC. In: *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2005. ISIE 2005*. [s.n.], 2005. v. 3, p. 1221–1226 vol. 3. ISSN 2163-5137. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/1529099>>. Acesso em: 19 nov 2019.

PARKER, D. *Express-Bot Robot Base*. 2019. Disponível em: <<http://www.nxtprograms.com/9797/express-bot/base/steps.html>>. Acesso em: 19 nov 2019.

RWTH. *RWTH - Mindstorms NXT Toolbox for MATLAB*. 2019. Disponível em: <<https://www.mindstorms.rwth-aachen.de/>>. Acesso em: 19 nov 2019.

SANTOSH, K. G.; BHARTI, W. G.; YANNAWAR, P. A review on speech recognition technique. *International Journal of Computer Applications*, v. 10, 11 2010. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/49587837_A_Review_on_Speech_Recognition_Technique>. Acesso em: 19 nov 2019.

SILVA, A. G. da. *Reconhecimento de Voz para Palavras Isoladas*. Dissertação (Monografia) — Universidade Federal de Pernambuco, Engenharia da Computação, Recife, dezembro 2009. Disponível em: <<http://www.cin.ufpe.br/~tg/2009-2/ags.pdf>>. Acesso em: 19 nov 2019.

SOUSA, N. F. de. *O Respeito pela Autonomia da Pessoa com Tetraplegia Completa em Reabilitação pelos Profissionais de Saúde*. Dissertação (Mestrado) — Bioética, Universidade De Lisboa - Faculdade De Medicina, Lisboa, junho 2017.

TORRES, A. de F. *Bioética: O princípio da autonomia e o termo de consentimento livre e esclarecido*. 1999. Disponível em: <http://portal.cfm.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=20393:bioetica-o-principio-da->. Acesso em: 19 nov 2019.

VILLINES, Z. *Tetraplegia vs. Quadriplegia vs. Paraplegia: What Is The Difference?* 2015. Disponível em: <<https://www.spinalcord.com/blog/tetraplegia-quadriplegia-paraplegia-what-is-the-difference>>. Acesso em: 19 nov 2019.

YANCO, H. A. Wheellesley: A robotic wheelchair system: Indoor navigation and user interface. In: *Assistive Technology and Artificial Intelligence, Applications in Robotics, User Interfaces and Natural Language Processing*. London, UK, UK: Springer-Verlag, 1998. p. 256–268. ISBN 3-540-64790-2. Disponível em: <https://www.academia.edu/3203669/Wheellesley_wheelchair_system_Indoor_navigation_and_user_interface>. Acesso em: 19 nov 2019.