

# Relatório Técnico

## Baby-8 - Um robô inspirado no BB-8 (Star Wars) controlado por celular

Caio Hurtado Sordi – k.sordi@gmail.com  
Rafael Hideo Toyomoto – toyomoto@alunos.utfpr.edu.br  
Thiago Oliveira Bispo de Jesus – thiagojesus@alunos.utfpr.edu.br  
Victor Barpp Gomes – victorbg@hotmail.com  
Willian Henrique Siman de Lima – wsimanbrazil@yahoo.com.br

Novembro de 2018

### Resumo

Nesse trabalho é apresentado o desenvolvimento de um robô para entretenimento, inspirado no BB-8 da série *Star Wars*. Esse robô é controlado por um aplicativo de *smartphone* Android, também desenvolvido nesse trabalho, utilizando a tecnologia *Bluetooth*. O usuário do aplicativo poderá movimentar o robô para as quatro direções e ainda rotacionar sua cabeça, apenas com comandos no celular. Todos que utilizarem o robô poderão ter um momento de diversão e se sentirem dentro de um filme dos *Jedi*. Também foi desenvolvido um blog para acompanhamento do desenvolvimento do robô<sup>1</sup>

## 1 Introdução

O objetivo desse projeto é desenvolver um robô de entretenimento baseado no personagem *BB-8* da série *Star Wars*, reproduzindo satisfatoriamente sua movimentação e fala. Sua funcionalidade de movimentação é controlada por um usuário através de um aplicativo de *smartphone* Android e ele é capaz de frear quando se aproximar muito de um objeto.

Para isso, inspirado em um projeto do Instructables<sup>2</sup>, foi proposto o Baby-8, que contará com dois sistemas embarcados: um localizado na cabeça, que é formado por um Arduino Nano, sensor de distância ultrassônico e um módulo *Bluetooth* e outro localizado no corpo, que é formado por um Raspberry Pi 3, dois motores DC e um servo motor. Seu funcionamento geral pode ser visto na figura 1.

---

<sup>1</sup><https://babyoito.wordpress.com/>

<sup>2</sup><https://www.instructables.com/id/DIY-Life-Size-Phone-Controlled-BB8-Droid/>

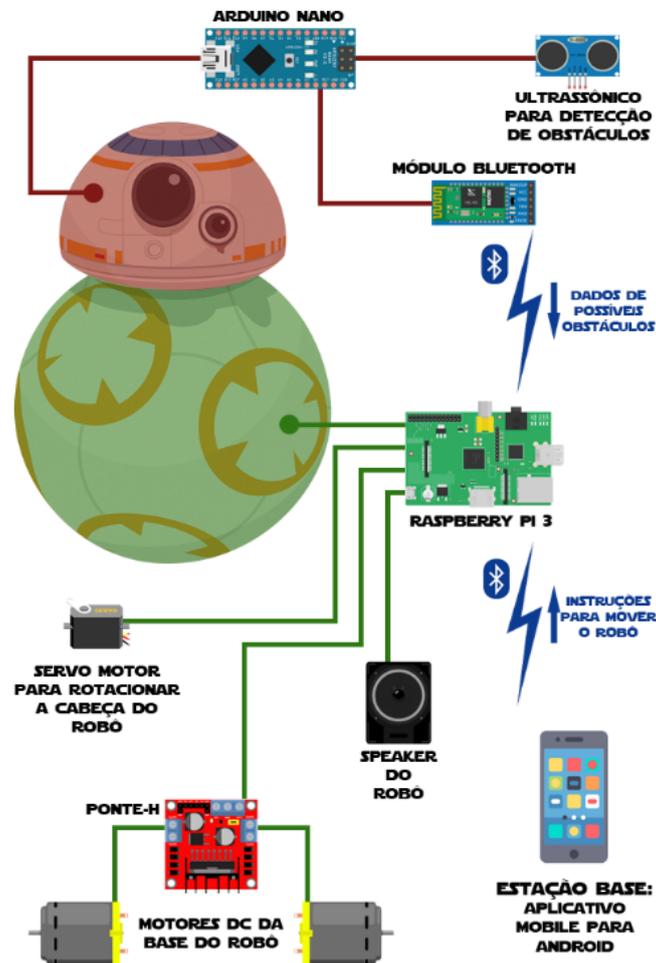


Figura 1: Visão geral do robô Baby-8

A cabeça foi feita de um hemisfério de isopor, com uma plataforma que contém dois ímãs, que se ligam magneticamente (e de maneira fraca) ao corpo, fazendo com que a cabeça fique sempre em cima da esfera, conforme o robô se move. Na plataforma está o Arduino conectado ao módulo Bluetooth e ao sensor de distância ultrassônico que, caso detecte um objeto próximo (a cerca de um metro de distância), enviará um comando de frenagem para o corpo.

A parte externa do corpo do robô é feita com uma casca esférica de plástico (feita a partir de globo para luminária). O sistema embarcado fica suspenso em uma plataforma com motores ligados a rodas, que ficam em contato com a casca esférica. Há, nas laterais da plataforma, pequenas esferas para evitar o contato direto da plataforma com a casca esférica e melhorar o deslizamento. Ligada a esta plataforma, há um arco que se estende pela esfera, com ímãs na ponta superior.

O Raspberry Pi 3, que fica na plataforma, é responsável por controlar os mo-

tores DC das rodas e o servo motor que gira uma pequena plataforma com dois ímãs para rotacionar a cabeça nos sentidos horário e anti-horário. Esse controle dos motores é feito de acordo com os comandos recebidos por Bluetooth do celular pelo Raspberry. Além disso, o corpo possui um alto-falante para reproduzir aleatoriamente os sons do robô.

A estação base é um celular. Foi desenvolvido um aplicativo que permite o usuário controlar a movimentação do robô e a rotação da cabeça, utilizando comunicação Bluetooth. As funcionalidades do robô podem ser melhor observadas na figura 2.

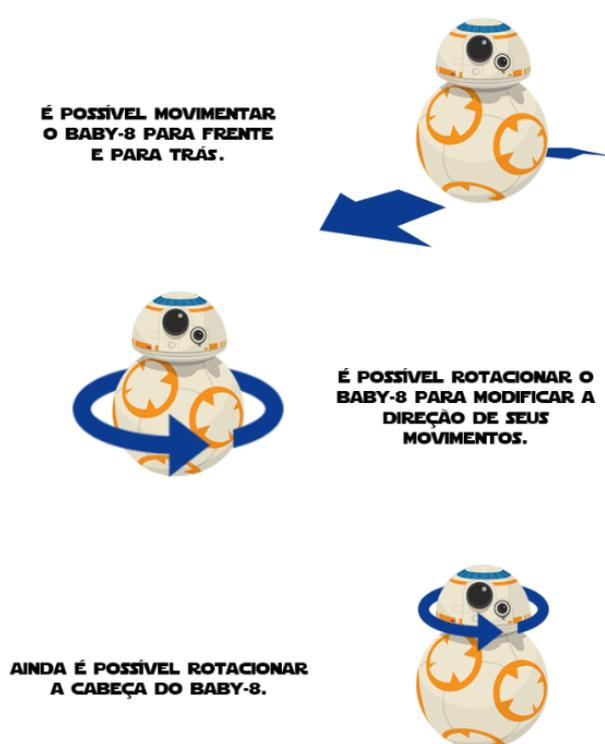


Figura 2: Funcionalidades do robô Baby-8

## 2 Tecnologias Utilizadas

Nesta seção são apresentados os componentes utilizados na montagem do projeto, assim como suas funcionalidades.

### 2.1 Mecânica

A mecânica de movimentação do robô é baseado em um robô Sphero [1]. Um protótipo pode ser visto na figura 3. Há uma estrutura interna que faz uso de

duas rodas e motores para se movimentar no interior da esfera que compõe o corpo do robô. A base dessa estrutura serve como um contrapeso para manter as rodas girando contra a parte mais baixa da esfera, evitando que o suporte escale e gire junto com a esfera. Também há uma estrutura vertical (um arco) para ajudar as rodas a manterem contato com as paredes da esfera [2].

Em cima do arco que fica no corpo existe uma plataforma retangular com dois ímãs de neodímio. A cabeça também possui dois ímãs alinhados com os do corpo. Toda vez que os ímãs do corpo girarem (através da rotação de um servomotor), a cabeça rotacionará de acordo.

## 2.2 Corpo

### 2.2.1 Raspberry Pi 3

Como dispositivo embarcado do corpo, escolheu-se o microcontrolador Raspberry Pi 3 Modelo B, um computador de placa única. A função do Raspberry Pi no robô é fazer a troca de dados entre a estação base (o celular) e o Arduino Nano (da cabeça do robô) por Bluetooth, fazer o controle dos motores DC para a movimentação do corpo, fazer o controle do servomotor para a movimentação da cabeça, e emitir sons no *speaker*.

### 2.2.2 Módulo Bluetooth

Como módulo Bluetooth do Arduino, foi utilizado o RS232 HC-05 para realizar a comunicação entre ele e o Raspberry. Esse sensor possui alcance de aproximadamente 10 metros [3].

### 2.2.3 Auto-falante (Speaker)

O auto-falante usado para tocar os barulhos do robô é um auto-falante comum com entrada P2 para conectar-se ao Raspberry Pi. A alimentação dele é 5V DC com potência de saída de 3W e impedância de 4 Ohms.

### 2.2.4 Ponte H

O *driver* de motor usado no projeto é a ponte H baseada no circuito integrado L298N[4]. Ele permite controlar a velocidade e a direção de dois motores DC e separa as alimentações do circuito lógico e do circuito de potência.

### 2.2.5 Motores DC

Para a movimentação do Baby-8, usaremos 2 motores Akiyama AK555. Esse modelo de motor provê 83 *RPM*, 11,1 *kgf.cm* de torque, possui potência de 5 *W*, corrente nominal de 430 *mA* e tensão de funcionamento 12 *V*.

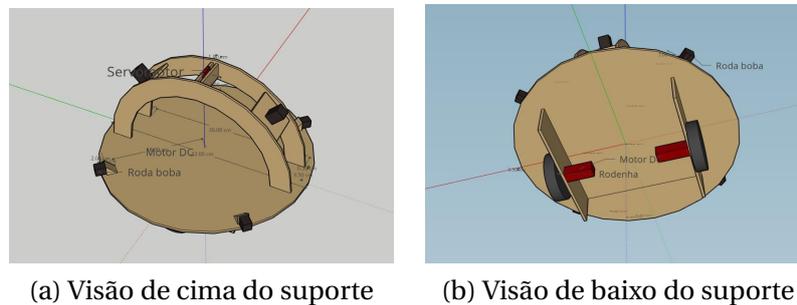


Figura 3: Projeto do suporte interno

### 2.2.6 Servo Motor

Nesse projeto foi utilizado um único servomotor, cuja função é rodar a cabeça do robô. Na ponta do servomotor há 2 ímãs acoplados que, ao rodar, movimentam um grupo de 2 ímãs presentes na cabeça do robô, movendo a cabeça como um todo. O modelo de servomotor utilizado é TowerPro MG995 360°.

### 2.2.7 Alimentação

Bateria chumbo-ácida regulada por válvulas de 12V, 4,5Ah com quase 1 kg de massa foi utilizada para alimentar os motores DC, por fornecerem bastante corrente e uma autonomia considerável.

Um pack de pilhas Ni-mh recarregáveis é usado para o servomotor. Ele possui 2700mAh e tensão de 4.8V, podendo manter o funcionamento do robô durante 4 horas antes de precisarem ser recarregadas.

Para a ligação do Raspberry Pi e dos outros componentes foi escolhido um powerbank de 10000mAh. Apesar de ter uma corrente de saída menor que os packs, a sua duração é superior.

### 2.2.8 Estrutura interna

A estrutura interna é a parte responsável por suportar o hardware utilizado no corpo do robô. Tanto os motores, quanto o Raspberry Pi e os demais componentes, são acoplados por fitas e parafusos em uma estrutura feita de MDF. Essa ficará contida dentro da parte esférica, não podendo ser vista durante o funcionamento do Baby-8. Preso a essa base de MDF haverá um arco que, além de ajudar na mecânica do robô, evitando que o suporte capote, conterá um servomotor no topo para permitir que a cabeça gire. Os motores e as rodas ficarão sob a base de MDF, sustentando o circuito e a base. O projeto do suporte interno pode ser visto na figura 3.

### **2.2.9 Estrutura Externa**

A característica mais icônica do Baby-8 é o seu corpo esférico. Para isso, decidiu-se usar uma esfera de plástico feita a partir de globo para luminária, escolhida por apresentar boa resistência e proporcionar uma melhor flexão do suporte, evitando quebras.

### **2.2.10 Imã**

Os ímãs utilizados no projeto são feitos de neodímio e possuem formato de disco. Eles são usados para manter a cabeça conectada com o corpo, através da força magnética.

## **2.3 Cabeça**

### **2.3.1 Arduino Nano**

Para a cabeça do Baby-8, optou-se por utilizar o Arduino Nano, uma placa compacta baseada no processador ATmega328. A função do Arduino Nano no Baby-8 é controlar o sensor ultrassônico e se comunicar por Bluetooth com o Raspberry Pi. Devido à sua pequena massa, seu tamanho e a simplicidade da função que exerce no robô, o Arduino Nano é uma opção ideal para ser utilizada na cabeça do robô [5].

### **2.3.2 Sensor Ultrassônico**

A fim de detectar possíveis obstáculos a frente do robô, foi utilizado um sensor ultrassônico em sua estrutura da cabeça. O sensor utilizado foi o HC-SR04 [6].

### **2.3.3 Alimentação**

Por não haver nenhuma ligação entre o corpo e a cabeça, é necessária uma fonte de energia separada. Como o Arduino nano e o sensor ultrassônico não consomem muita corrente, é possível alimentar esses periféricos usando uma bateria do tipo comercial de 9V.

### **2.3.4 Estrutura**

A estrutura da cabeça foi feita com um hemisfério de isopor por ser leve e os ímãs do suporte interno conseguirem movê-la. Dentro do hemisfério fica uma placa perfurada contendo o circuito do projeto sobre um suporte, onde fica o ímã para movimentação. Além disso, há um suporte de MDF com três rolamentos axiais de esferas sob a esfera, a fim de permitir a cabeça deslizar com pouco atrito sobre o corpo.

## 2.4 Estação Base

A estação base desse projeto é um aplicativo para *smartphone* com o sistema operacional *Android*, o qual apresenta uma interface para o usuário controlar o robô remotamente. A plataforma escolhida para o desenvolvimento desse aplicativo foi o *Xamarin*[7] integrado ao ambiente de desenvolvimento *Microsoft Visual Studio*[8], que permitiu o desenvolvimento do nosso código na linguagem *C#*.

O aplicativo fornece uma tela com os botões correspondente a cada uma das funcionalidades do robô: movimentação para frente e para trás; rotacionar o robô em seu próprio eixo tanto no sentido horário quanto no anti-horário; e rotacionar a estrutura da cabeça tanto no sentido horário quanto no anti-horário.

A aplicação faz uso das bibliotecas nativas oferecidas na instalação padrão das ferramentas utilizadas, incluindo a funcionalidade de *Bluetooth* e a parte de interface para o usuário.

## 3 Desenvolvimento

### 3.1 Mecânica

Para a detecção de objetos próximos, foi acoplado um sensor ultrassônico à cabeça do robô. Foram feitos dois furos na estrutura de isopor, permitindo o encaixe do sensor na estrutura. Essa estrutura fica apoiada em cima de um disco de MDF, escondendo-o completamente. Puxadores de tampas de panela e ímãs foram acoplados na parte inferior do MDF para a movimentação da cabeça. As visões superior e inferior da base da cabeça com os ímãs pode ser vista na imagem 4 e o design da cabeça, em seu estado final, pode ser vista na figura 5.



(a) Visão de baixo da base



(b) Visão de cima da base

Figura 4: Base da cabeça



Figura 5: Design da cabeça

A estrutura interna do robô foi feita manualmente, sem peças prontas. Peças de MDF foram cortadas e lixadas para montar uma base circular e dois arcos. Parafusos com porcas e cantoneiras foram usadas para fixar as partes de MDF, assim como as placas de circuito e os motores.

Na parte inferior da base, foram fixados os motores e ripas de madeira com rodas bobas nas pontas. As rodas bobas servem de sustentação para o robô dentro da estrutura esférica e podem ter seu ângulo e distância em relação ao centro alterados, tornando fácil seu ajuste para se adequar à esfera.

O Raspberry Pi, a ponte H, as baterias e a caixa de som foram fixadas em uma placa secundária também de MDF. Esta foi fixada na parte superior da base com o auxílio de parafusos. Abraçadeiras de nylon auxiliaram na fixação das baterias, por serem mais pesadas.

Uma estrutura na parte superior dos arcos, de altura regulável, sustenta o servo motor. Neste está acoplado um eixo com dois ímãs que servem para fixação e rotação da cabeça do robô.

Dois ripas de madeira com rodas nas pontas estão localizadas na parte lateral dos arcos. Auxiliando na sustentação e impedindo que os ímãs levantem a estrutura interna, essas rodas bobas também têm altura configurável para ajuste fino.

A estrutura sofreu várias adaptações e modificações ao longo da montagem. Tendo em vista estas modificações, peças como as rodas bobas, o servo e os motores foram planejadas e montadas com certa flexibilidade. Isso reduziu consideravelmente o trabalho e tempo gasto para se ajustar a diferentes esferas e motores. A estrutura montada pode ser vista na figura 6.

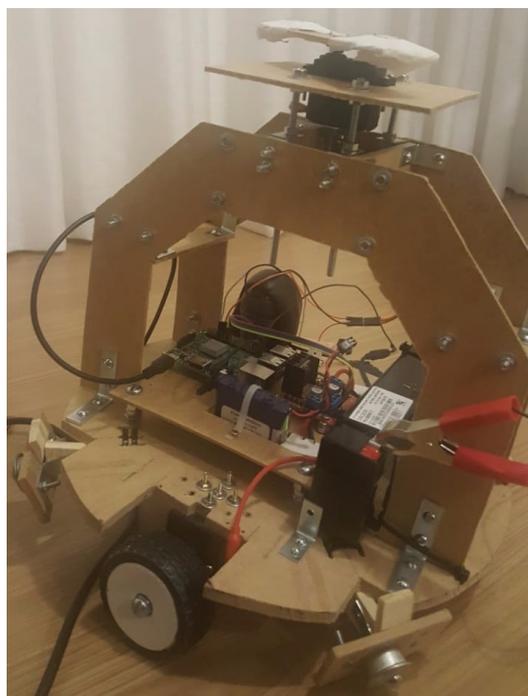


Figura 6: Suporte interno

A estrutura externa do robô sofreu algumas iterações também. Originalmente, foi feita uma esfera de papel machê, que foi descartada por não apresentar a resistência necessária. Então, foi feita uma esfera de fibra de vidro. Essa esfera era resistente, entretanto, por ter sido feita manualmente, não era perfeitamente esférica, não permitindo boa movimentação da estrutura interna em seu interior. Logo, o globo de luminária foi escolhido como corpo definitivo.

O globo foi serrado em duas partes, para que fosse possível inserir a estrutura interna. Em uma das metades, foram coladas peças de plástico para servir de guia para o encaixe da outra metade. Uma tira de aço foi passada sobre a junção das duas esferas para reforçar esse ponto crítico contra deformações. O furo do globo foi tampado com parte de outro globo, idêntico. Esse furo funciona como uma escotilha para ligar ou desligar o robô, fazer reparos simples e carregar as baterias utilizadas. A forma final da estrutura é vista na figura 7.



Figura 7: Corpo esférico do robô

O robô como um todo em seu estado final pode ser visto na figura 8 .



Figura 8: Robô montado em seu estado final

## 3.2 Software

### 3.2.1 Embarcado

Para prover todas funcionalidades previstas para o robô, foi desenvolvido um software para o microcontrolador Raspberry Pi no interior do robô cujo objetivo é receber comandos de um aplicativo *mobile* e desempenha-los através do controle dos motores com as rodas e do servo motor.

Além disso, esse software monitora as leituras do ultrassônico da cabeça do robô e realiza a frenagem em situações que o robô esteja na eminência de uma colisão. Outra função que é desempenhada é a reprodução de áudios característicos do robô BB-8.

Para um entendimento mais detalhado desse software, é possível observar toda sua estrutura no diagrama de classes da figura 9.

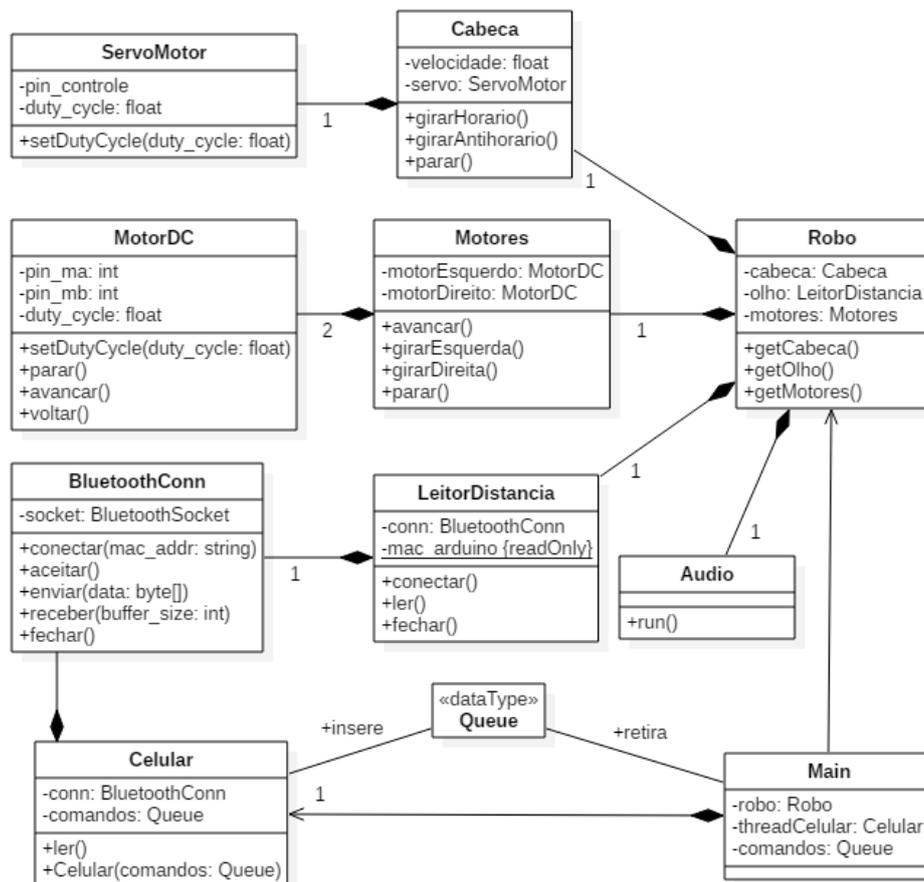


Figura 9: Diagrama de classes do sistema embarcado

### 3.2.2 Estação Base

Para controlar o robô foi desenvolvido um aplicativo para *smartphones*, como descrito na seção 2.4. O diagrama de classes do software pode ser visto na figura 10.

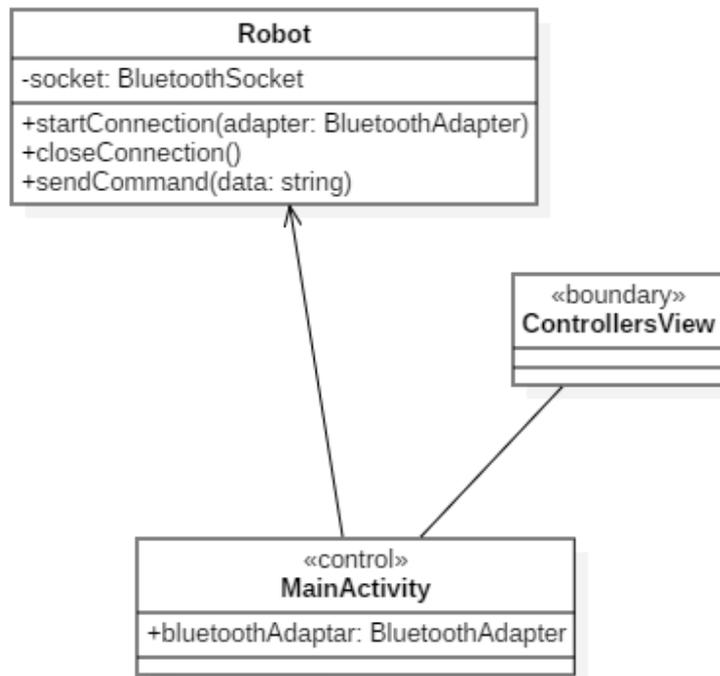


Figura 10: Diagrama de classes do aplicativo

A interface do aplicativo possui uma tela de conexão com o Raspberry e outra para enviar os comandos. A conexão com o Raspberry é *hard-coded*, com o endereço MAC dele escrito no código. Para se conectar é necessário parear com o Raspberry antes de utilizar o aplicativo e, depois, abrir o aplicativo e clicar no botão de se conectar.

Após conectado, o usuário poderá enviar os comandos de movimentação do robô e da cabeça, clicando nos botões respectivos aos comandos. Essa interface apresenta 4 botões em formatos de cruz do lado esquerdo, responsáveis pela movimentação do robô, e 2 na direita, responsáveis pela rotação da cabeça. Essa interface pode ser vista na figura 11.

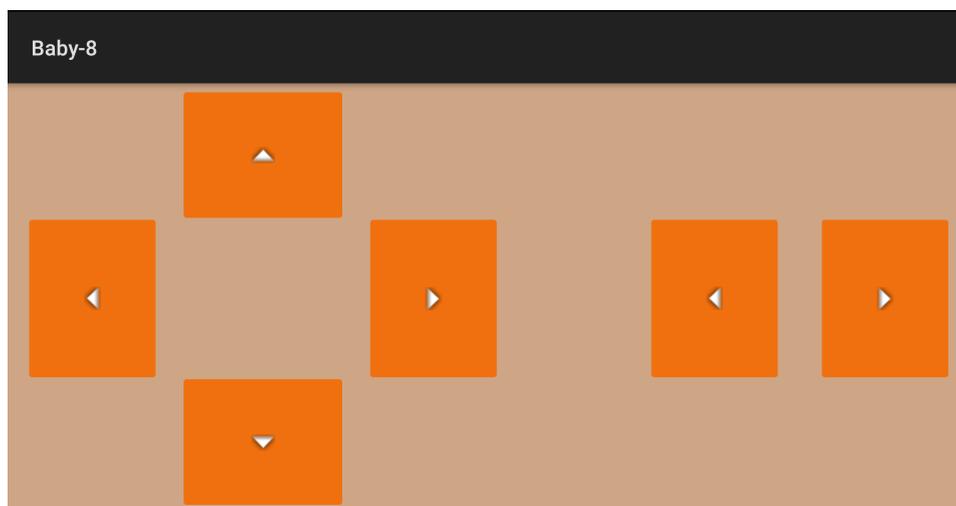


Figura 11: Comandos do aplicativo

### 3.3 Hardware

Primeiramente, os circuitos foram projetados utilizando o software CircuitLab<sup>3</sup>. Após isso, os circuitos da cabeça e do corpo foram montados. No corpo ele foi montado sobre o suporte de MDF, enquanto que na cabeça foi montado em uma placa perfurada, que fica presa na estrutura de isopor.

#### 3.3.1 Cabeça

O esquemático do circuito da cabeça é mostrado na figura 12. Para montar esse circuito, foi utilizada uma placa perfurada e as trilhas embaixo dela foram feitas com *jumpers* e estanho soldado. Em cima foram colocados soquetes para os circuitos integrados, como Arduino Nano, módulo Bluetooth e sensor ultrassônico. O circuito foi alimentado com uma bateria de 9V comum e foi adicionado uma chave para ligá-lo e desligá-lo.

<sup>3</sup><https://www.circuitlab.com/>

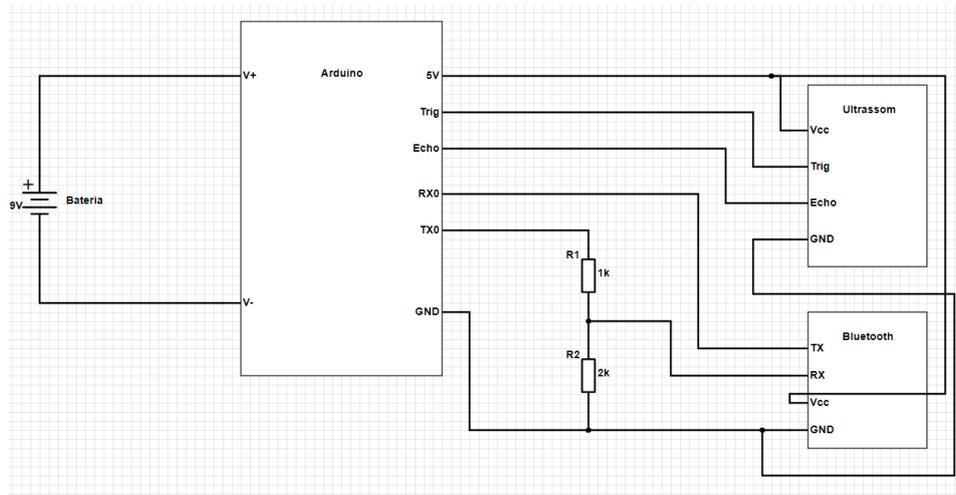


Figura 12: Diagrama do circuito da cabeça do robô

O sensor ultrassônico, responsável por detectar objetos muito próximos do robô, ficará preso à estrutura da cabeça, por isso fios saem de um soquete no circuito para se ligarem a ele. O circuito montado pode ser visto na figura 13.

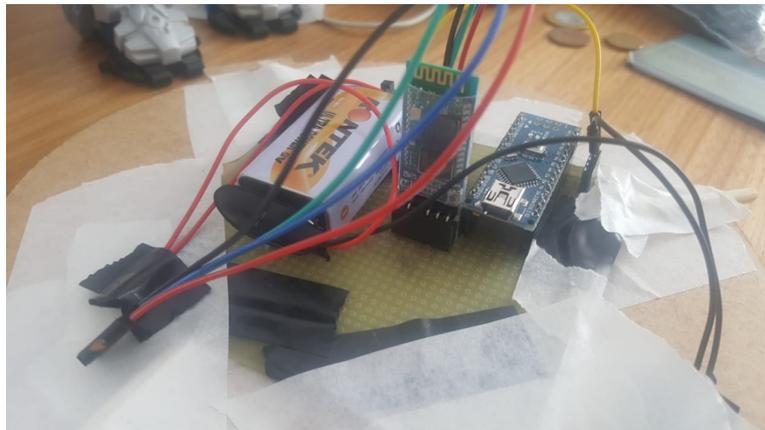


Figura 13: Circuito montado da cabeça do robô

### 3.3.2 Corpo

O esquemático do circuito do corpo pode ser visto na figura 14. Para montá-lo, o Raspberry, a ponte H, a alimentação do circuito lógico (Powerbank) e a alimentação do circuito de potência (pack de bateria para o servomotor e bateria para os motores DC) foram presos ao suporte de MDF.

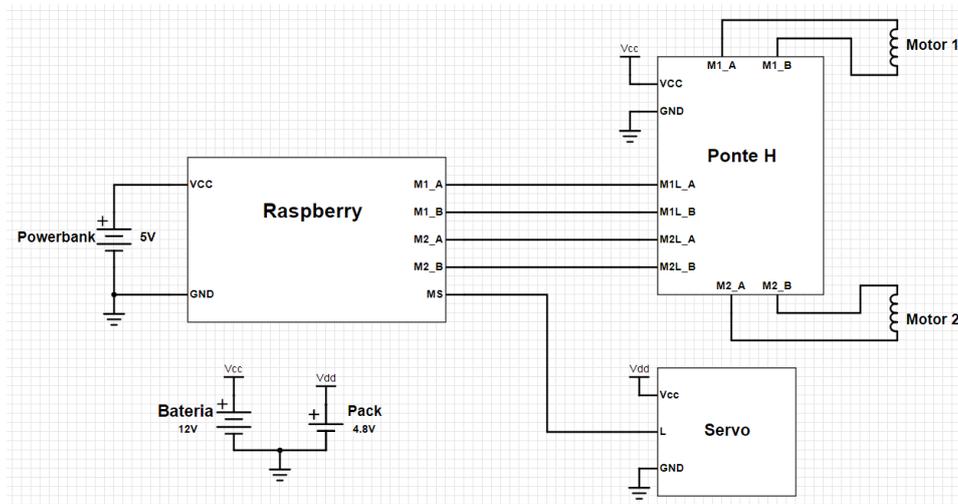


Figura 14: Diagrama do circuito do corpo do robô

O servomotor ficará sobre um arco de MDF, no topo do suporte, para poder girar uma plataforma retangular que conterá os dois ímãs de neodímio. Isso permite que a cabeça gire conforme o servomotor rotaciona a plataforma com os ímãs. Fios que saem dele são ligados diretamente ao Raspberry na base do suporte. O circuito montado pode ser visto na figura 15.

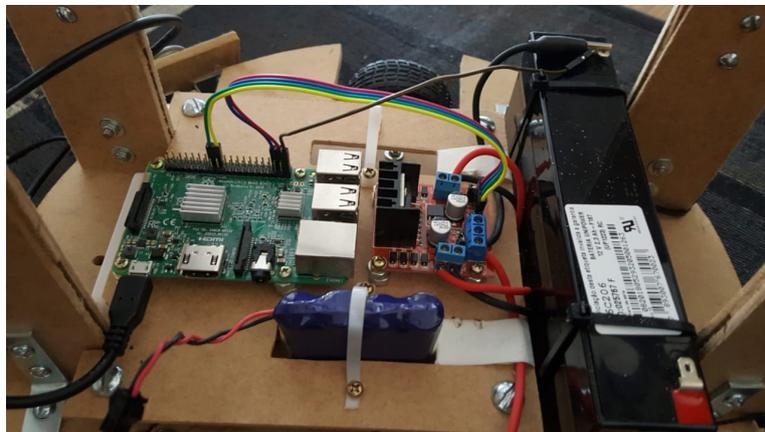


Figura 15: Circuito montado do corpo do robô

### 3.4 Comunicação

A comunicação utilizada no projeto é feita via Bluetooth. O corpo do robô conterá um Raspberry Pi 3 que estará pareado com dois dispositivos: um Arduino Nano, que fica na cabeça do robô, e um celular, que é utilizado para controlar a movimentação do robô. O celular enviará comandos para o Raspberry e o Ar-

duino enviará dados de distância de objetos, captados pelo sensor ultrassônico, para o Raspberry poder frear o motor caso algo esteja muito perto.

O celular envia 6 diferentes comandos para o robô, que envolvem se movimentar nas quatro direções (frente, trás, esquerda e direita) e rotacionar o servomotor nos dois sentidos (horário e anti-horário).

## 4 Conclusão

O projeto de desenvolver um robô mostrou que entretenimento não possui idade certa. Durante a sua criação a equipe esteve entretida e outras pessoas que identificavam o personagem ficaram bastante entusiasmados com a ideia.

A construção do Baby-8 foi um ótimo exercício para integrar *software*, *hardware* e mecânica com seus desafios específicos em cada área. Adversidades no desenvolvimento de *software* e de *hardware* foram contornados facilmente, devido a experiência e conhecimento da equipe em tais áreas, porém problemas de mecânica foram o que mais desprenderam tempo para serem resolvidos. Alguns exemplos de reveses encontrados foram: encontrar um bom jeito para fechar a esfera, determinar a força que o motor deveria ter, entre outros. Isso se deve principalmente à falta de domínio e experiência nessa área. Esse projeto, em especial, proporcionou desafios interessantes para quem não tinha muito contato com a mecânica.

No final do processo, o robô possuiu todas as funcionalidades descritas, podendo ser controlado pelo usuário livremente e desencadeando reações positivas por onde passa. Certamente, suas funções não são executadas perfeitamente, por exemplo, a detecção de objetos ser feita apenas para onde a cabeça está virada, não evitando colisões se o robô andar de ré, e a movimentação do robô não ser linear, pois o posicionamento das rodas e a distribuição do peso impedem que ele ande exatamente para onde o usuário manda. Esses aprimoramentos podem ser executados em um trabalho futuro.

## Referências

- [1] Disney. Sphero. <https://www.sphero.com/>.
- [2] Carlos Sánchez Emilio Gelardo. How does bb-8 work? <https://howbb8works.com/>.
- [3] Filipe Flop. Módulo bluetooth hc-05. <https://www.filipeflop.com/blog/tutorial-modulo-bluetooth-com-arduino/>.
- [4] Filipe Flop. Ponte-h l298n. <https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-ponte-h-l298n/>.
- [5] Arduino. Arduino nano. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>.
- [6] ElecFreaks. Ultrasonic ranging module hc-sr04. <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>.
- [7] Microsoft. Ferramentas do visual studio para xamarin. <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/xamarin>.
- [8] Microsoft. Visual studio. <https://visualstudio.microsoft.com/>.