

ESTRUTURA HÍBRIDA PARA ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA

Vitor dos Santos Silva - 3º ano do Ensino Médio Integrado ao Ensino Técnico em Automação Industrial¹

Derek Vieira Silva - 1º ano do Ensino Médio Integrado ao Ensino Técnico em Automação Industrial¹

Guilherme Fortunato Miranda - 1º ano do Ensino Médio Integrado ao Ensino Técnico em Automação Industrial¹

Nicolas Gabriel Bomfim Souza Santos - 1º ano do Ensino Médio Integrado ao Ensino Técnico em Automação Industrial¹

Gustavo Sanches Costa - 2º ano do Ensino Médio Integrado ao Ensino Técnico em Automação Industrial¹

Nayara Queiroz Pereira - 1º ano do Ensino Médio Integrado ao Ensino Técnico em Automação Industrial¹

Tutor: Wagner Roberto Garo Júnior¹, Professores Colaboradores: Vera Lúcia da Silva¹, Masamori Kashiwagi¹ e Raphael Antônio de Souza¹

wagner.garo@ifsp.edu.br, verals@ifsp.edu.br, masamori@ifsp.edu.br, raphael@ifsp.edu.br

¹ INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO - IFSP
Suzano – SP

Categoria: ARTIGO BÁSICO

Resumo: Para participação na Olimpíada Brasileira de Robótica (OBR), faz-se necessário que a equipe construa um robô compacto e capaz de resolver os desafios propostos. O uso de kit de robótica, muitas vezes limita a construção da arquitetura do robô, devido as peças disponíveis para a construção. Com o objetivo de construir uma arquitetura do robô mais robusta este trabalho propõe o desenvolvimento de um robô híbrido utilizando as peças do kit Lego de robótica EV3 e peças impressas em PLA (ácido polilático) em uma impressora 3D. A estrutura foi projetada no software Solidworks, podendo alocar todos os componentes eletroeletrônicos necessários ao controle do robô. Neste trabalho serão citadas a fase de planejamento, a experiência da construção e ajustes após a montagem. O robô autônomo proposto visa auxiliar os seres humanos em situações nas quais não podem intervir, como a busca e resgate de vítimas em ambientes inóspitos. O diferencial desse projeto é a arquitetura híbrida entre o kit de robótica da Lego EV3 e as peças impressas na impressora 3D. O projeto provou-se eficiente apesar da necessidade de ajustes após a montagem.

Palavras Chaves: Robótica, Impressora 3D, Kit Lego EV3, Mecânica, Robô Híbrido.

Abstract: For the Brazilian Olympiad of Robotics, the team must build a compact robot, which must be capable of solving the proposed challenges. Concerning that, a hybrid robot was developed, using the pieces of the EV3 robotics kit from Lego and pieces which were printed using PLA (polylactic acid) in a 3D printer. The structure was projected on the CAD software Solidworks, and planned to allocate all of the electronic components and power supplies needed to control the robot. Many adjustments involving material removal were executed, like sanding, rectifying, removing supports etc. On this paper the planning, construction experience and adjustments after

the assembly will be discussed. The concerned robot has the objective of helping humans in situations which they cannot interfere, being a proposal of solution to the problem built by high school students. The difference of this project is the hybrid architecture between the Lego robotics kit and the pieces printed on the 3D printer. The project has proven to be efficient, despite the need of adjustments after the assembly.

Keywords: Robotics, 3D Printer, Lego, Mechanics, Hybrid Robot.

1 INTRODUÇÃO

A OBR é uma competição de robôs autônomos capazes de realizar uma série de desafios que simulam a busca e o resgate de vítimas em um ambiente inóspito, no qual um ser humano não tem a capacidade de intervir. O robô deve ser robusto, compacto e ágil para resolver o desafio no tempo adequado. Para isso, deve-se tomar cuidado na montagem e construção da parte mecânica. Foi escolhida a tração nas rodas traseiras, porque nas versões anteriores construídas percebeu-se que a tração dianteira pode ocasionar o deslizamento do robô na rampa. Foi necessária muita pesquisa sobre as dimensões das peças do kit de Lego para projetar os furos corretamente, de modo que as peças impressas pudessem se encaixar com as peças já existentes. Os robôs anteriores foram montados completamente com o Kit Lego, que é “muito mais do que um simples brinquedo. Ele é, na verdade, um kit de iniciação em robótica.” [Veras, 2014]. No entanto, o resultado era um robô que em geral excedia o tamanho adequado e tinha problema nas partes do desafio que exigiam que o robô fosse compacto.

A motivação para o desenvolvimento desse trabalho, além da oportunidade de aprender mais sobre mecânica e modelagem de projetos em 3D, é o desenvolvimento de uma tecnologia que

pode ser útil para situações de perigo no futuro, nas quais se embasa a premissa da olimpíada. Esse projeto tem por seu diferencial a estrutura híbrida, na qual peças com tamanho preestabelecido são mescladas com peças projetadas e impressas pela equipe.

As seções que compõem o desenvolvimento desse trabalho são: projeto, na qual será descrita a fase do planejamento e modelagem em 3D da estrutura; impressão, na qual será descrita a fase de impressão das peças, e os desafios que foram enfrentados; montagem, na qual será detalhada o modo com o qual as peças foram alocadas; e ajustes, em que serão descritos as alterações que precisaram ser feitas após a montagem.

2 O TRABALHO PROPOSTO

A hipótese de que para alcançar um bom desempenho na OBR era necessário um robô com tamanho extremamente reduzido, porém com uma grande capacidade de processamento, justificando a grande quantidade de componentes avulsos adotados, foi a motivação para a realização desse projeto. O projeto propõe a construção da arquitetura de um robô híbrido, montado com peças prontas do kit Lego EV3, bem como peças projetadas e impressas em impressoras 3D. As seções a seguir descreverão o processo de modelagem e construção do robô. A diferença desse robô para os produzidos anteriormente no grupo de robótica é o projeto físico do robô com recursos e componentes para o processamento de imagem, como o uso de um *Raspberry Pi*, câmeras e da técnica de processamento de imagem.

Durante a construção desse robô novos conhecimentos foram adquiridos, como técnicas de operação e manutenção de impressora 3D, além de conhecimentos de mecânica e aplicação de diversos conceitos adquiridos no curso de automação industrial.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do projeto foram utilizados motores, sensores, cabos e peças do kit Lego *Mindstorms* EV3 e Lego *Mindstorms* NXT, uma impressora 3D, um rolo de filamento PLA com 1.75mm de diâmetro, como material de impressão, limas e chaves de fenda/Philips para ajustes, além de cola Tekbond 3/cola quente para unir as peças que foram impressas. Também foram utilizados: fita isolante para evitar desgaste, ferro de solda para fazer furos e uma microrretífica para dar acabamento.

Para controlar o robô foi utilizado o controlador Lego EV3 e foi escolhido o computador *Raspberry Pi*, já que “ainda que minúsculo, o *Raspberry* é um computador completo.” [Garrett, 2014] para o auxiliar. Também foi utilizado um *power bank* para fornecer energia ao *Raspberry Pi* e um celular para capturar imagens, ativar o robô e enviar dados sobre sua inclinação, conforme ilustra a Figura 1.

Assim que ficou pronto a primeira impressão das peças, o robô foi montado e submetido a um teste no qual ele deveria seguir a linha. O teste foi realizado com sucesso.

No entanto, ao tentar passar pela caneta na pista, surgiram diversos problemas. O suporte do celular impedia que o obstáculo fosse superado. A medida tomada para resolver foi a sua remoção, e a perfuração de uma cavidade na estrutura para encaixe do celular.

Em seguida, após a remoção do suporte do celular, percebeu-se que o robô perdia o equilíbrio ao tentar superar o obstáculo,

tendo em vista a variação do centro de gravidade. Após diversos ajustes, o equilíbrio melhorou.

Os testes foram efetuados no próprio laboratório, na pista montada pelos alunos participantes do projeto de robótica.

4 PROJETO

O robô foi projetado utilizando modelagem 3D realizada no software Solidworks, enquanto as peças do kit Lego foram encontradas no site *GrabCAD*. Primeiramente, as peças do kit foram posicionadas de maneira que pudessem ocupar o menor espaço possível. Os sensores ópticos necessários para que o robô fosse capaz de seguir a linha foram posicionados entre os motores para minimizar o comprimento em detrimento da largura. Foi considerado que o robô não pode possuir um grande comprimento, caso contrário, haveriam problemas para desviar de obstáculos, devido à pequena distância existente entre alguns obstáculos e possíveis curvas.

Também foi considerada a necessidade de alocar os componentes responsáveis pelo controle, que são: Um controlador Lego EV3 (superior esquerdo na Figura 1), responsável pela leitura dos sensores ópticos e pelo controle dos motores; Um *Raspberry Pi* (superior direito), responsável pelo processamento de imagem e pela comunicação entre os diversos dispositivos; Um *power bank* (inferior esquerdo), cuja função é fornecer energia ao *Raspberry Pi* e um celular (inferior direito), responsável por capturar imagens, ativar o robô e enviar dados sobre sua inclinação.



Figura 1 - Componentes utilizados

Foi necessária a divisão do projeto em múltiplas peças, pois a estrutura do robô ficou maior do que a área na qual a impressora pode trabalhar, e gastaria mais material do que o necessário. Essas peças possuem guias, que servem para uma

colagem mais precisa após a impressão. A Figura 2 exibe o projeto no SolidWorks.

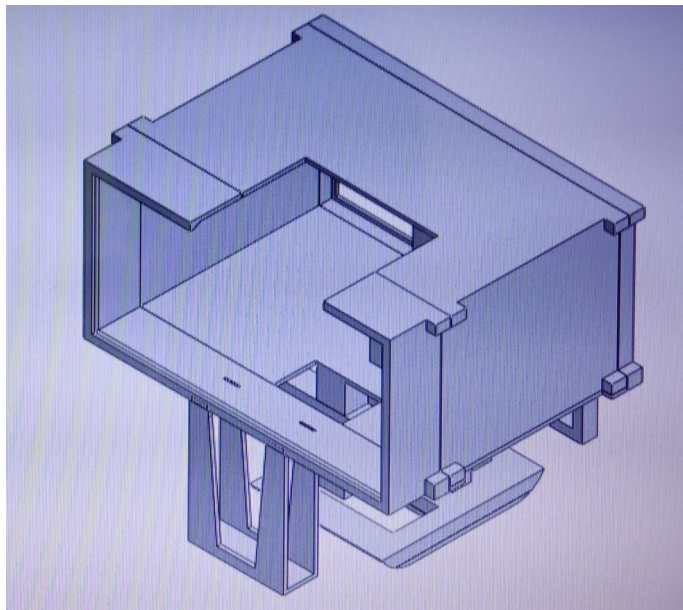


Figura 2 - Projeto no SolidWorks

5 IMPRESSÃO 3D

O robô é constituído principalmente por peças do Kit Lego e peças impressas em uma impressora 3D. As peças projetadas citadas na seção anterior foram salvas no formato STL (extensão *.STL) e convertidas para um formato que a impressora possa interpretar pelo programa *Repetier-Host* (Renkforce, 2019). Foi utilizado um rolo de filamento PLA (ácido polilático) como material de impressão, para o qual a base da impressora foi aquecida a 60°C, enquanto a extrusora pela qual o plástico passa foi aquecida a 210°C. A impressora utilizada foi um modelo semelhante ao demonstrado na figura abaixo.

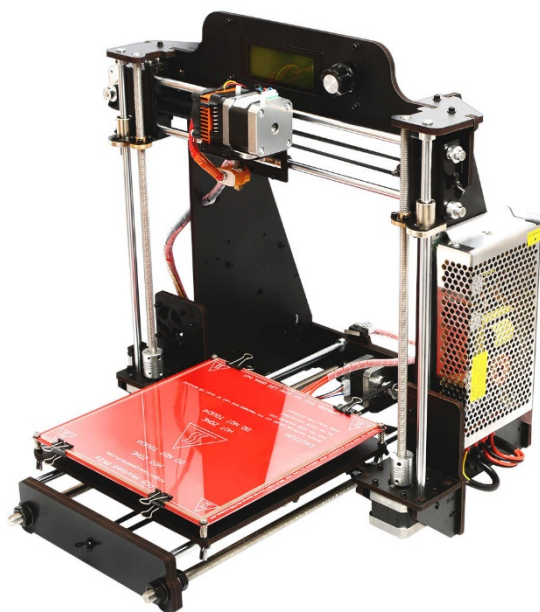


Figura 3 - Impressora 3D - Fonte: [Banggood, 2019]

Diversas situações dificultaram a impressão do projeto, como variações proporcionadas pela dilatação do material e a dificuldade de remover os suportes físicos que o software

adiciona para possibilitar a impressão, além de diversas vezes nas quais a mesa da impressora foi desalinhada, fazendo com que fosse necessária uma nova calibragem, ou vezes em que o bico da impressora entupiu devido ao mau encaixe do filamento, o que gerava a necessidade de que uma parte da impressora fosse desmontada para resolver o problema.

Eventualmente as peças não adquiriam aderência o suficiente na base da impressora. Nestes casos, fez-se necessário passar laquê na base para que a peça colasse ao começar sua impressão. Na figura abaixo pode-se ver uma peça que começou a descolar da impressora no início de sua impressão.

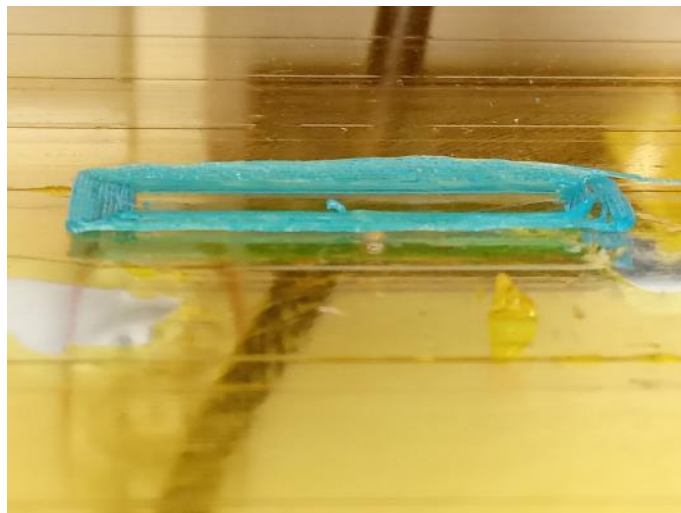


Figura 4 - Peça descolando da mesa

A estrutura foi dividida em pequenas partes, portanto o tempo de impressão de cada peça em média era aproximadamente 40 minutos. As maiores peças chegavam a demorar mais de 2 horas para serem impressas.

6 MONTAGEM

Após impressas, as peças precisavam ser encaixadas para formar a estrutura total que tinha sido projetada. Elas foram coladas utilizando cola Tekbond número 3, que possui uma viscosidade adequada para o projeto, além de possuir uma força de colagem adequada. A cola era aplicada principalmente nas guias que tinham sido incluídas na fase de projeto, mas também no restante da área de contato.

No entanto, nem todas as peças foram coladas. Devido à possível necessidade de mudanças, peças que possuíam um contato mais direto com as peças do Kit Lego e com o chão foram encaixadas apenas, dispensando a necessidade de cola.

Somente em uma colagem foi utilizada a cola quente ao invés da cola Tekbond.

A Figura 5 exibe a montagem final das peças impressas.



Figura 5 - Montagem das peças

A montagem foi realizada seguindo a ordem de impressão. Ambos os processos ocorreram concomitantemente. Conforme as peças iam terminando de serem impressas elas eram adicionadas à montagem com cola.

A peça que entra em contato direto com o chão, localizada na base inferior do robô, foi projetada para o alojamento de duas esferas, com o objetivo de diminuir o atrito com o chão. As esferas foram encaixadas exercendo uma pequena pressão e podem ser facilmente removidas com o auxílio de uma chave de fenda no caso da necessidade de troca. A Figura 6 exibe o projeto do robô com as esferas.

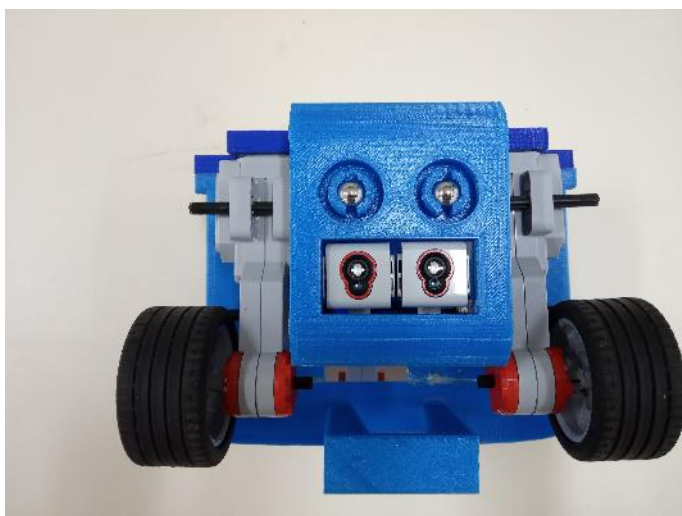


Figura 6 - Esferas na base

7 AJUSTES

Como foi citado, houve problemas com as peças devido à dilatação do material. Isso provocou a necessidade de diversos ajustes, sendo os mais comuns: remoção de material com a utilização de uma lima, remoção de material com a chave de fenda/chave Philips, utilização de uma microrretífica, ferro de solda e aplicação de fita isolante para impedir o desgaste superficial da impressão.

Nas peças em que eram encaixados os motores do Kit Lego, fez-se necessário aumentar o tamanho do furo com uma lima, pois o encaixe não era possível. Foi utilizada principalmente uma lima quadrada.

Certas peças projetadas possuem um encaixe em cruz, para que pudesse ser utilizada uma peça do kit Lego que passasse por elas, bem como pelos motores e sensores, que possuíam o mesmo encaixe e fosse possível a integração. Nessas peças, esse encaixe utilizou suportes na hora da impressão. Como não foi possível a remoção completa dos suportes, os pedaços remanescentes impediam que a peça de Lego passasse. Os resquícios foram então removidos com uma pequena lima circular, chave de fenda e chave Phillips.

Outras peças possuíam encaixes entre si e devido à dilatação da impressão esses encaixes não funcionaram após a impressão da peça. Fez-se necessário aumentar ou diminuir os encaixes com uma lima quadrada ou com uma lima plana.

Houve problema no encaixe da alavanca incluída na garra, que consistia em passar um clipe de papel por uma série de furos. O problema foi resolvido esquentando o clipe e aplicando muita força manual.

Devido aos problemas com o centro de massa nos primeiros testes foi necessário criar furos nas laterais e em cima do chassi para alocar os componentes. Para isso, utilizou-se de um ferro de solda e o acabamento dos furos foi realizado, utilizando a microrretífica.

A peça que dá suporte ao motor responsável pela garra precisou ser reprojetada e impressa novamente para possibilitar o alojamento do *power bank* na base. O motivo foi o local onde ele estava alocado anteriormente, no topo, o que provocava um grande deslocamento do centro de massa do robô no momento da inclinação da rampa. Ao subir a rampa, o robô às vezes caía.

A peça que entra em contato com o chão também precisou ser reprojetada. Seu aspecto plano, como pode ser visto nas figuras 4 e 5, fez com que, conforme o robô se movimentasse para a frente e ao passar uma caneta colocada na pista (um dos desafios propostos pela OBR), sua inclinação aumentasse. O projeto foi então adaptado para que tomasse uma forma semicircular, diminuindo a inclinação máxima alcançada durante a tentativa de superar o obstáculo.

A natureza semicircular da peça, no entanto, fez com que a parte na qual as esferas são encaixadas prendesse no redutor de velocidades, então uma outra peça foi projetada para diminuir o ângulo com o qual a peça da base entra em contato com o redutor.

O suporte para o celular, localizado na parte traseira do robô precisou ser retirado, pois assim que o robô tentava passar pelo redutor, esse suporte prendia na mesma. No entanto, foi realizado um furo onde o suporte estava anteriormente, para que o celular pudesse ser encaixado.

O mesmo desafio fez com que, em alguns testes, o robô caísse para trás. O problema foi resolvido, utilizando um outro eixo de rodas que fica suspenso na parte traseira e que entra em contato com o chão assim que a inclinação do robô para trás começa a exceder o desejado, oferecendo resistência ao movimento e fazendo com que o robô não caia. A Figura 7, exibe a arquitetura do robô após os ajustes.

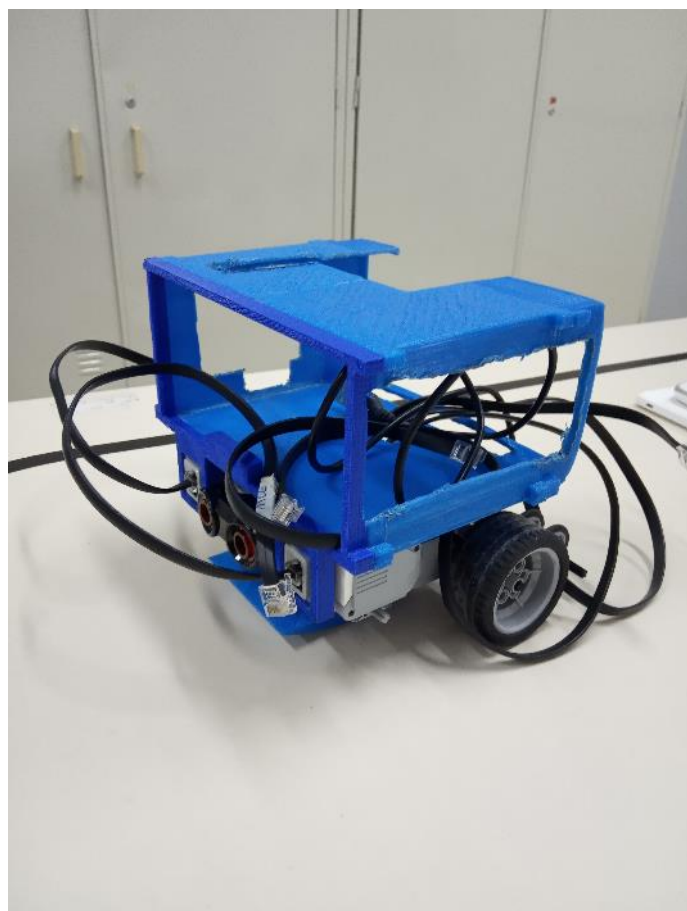


Figura 7 - Estrutura do robô após ajustes

8 GARRA

O mecanismo utilizado pelo robô para o resgate das esferas (parte substancial do desafio proposto pela OBR) difere dos métodos tradicionalmente utilizados para o resgate. Devido à necessidade de o robô ter um tamanho reduzido, optou-se por um sistema de resgate em que fosse utilizado apenas um motor, fazendo com que o espaço fosse otimizado.

A Figura 8 ilustra o sistema proposto.

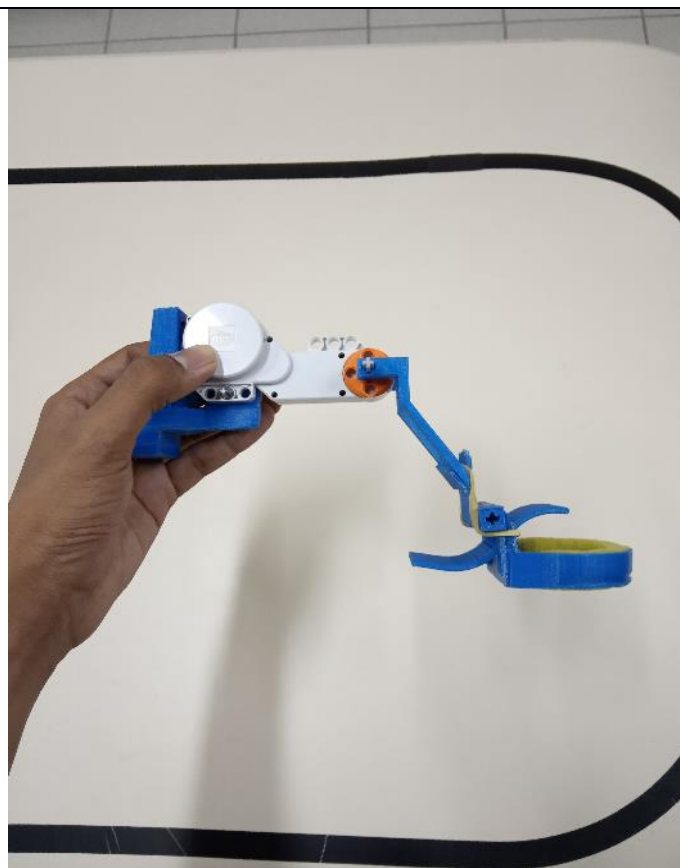


Figura 8 - Garra

O motor fica localizado no compartimento principal, e a estrutura da garra fica localizada do lado de fora, na parte traseira, conforme ilustra a Figura 9.

Ao abaixar a garra, a esfera fica presa na parte inferior, segura pela espuma, e a alavanca fica pronta para ser acionada. A garra é levantada e o robô se desloca para a zona de resgate. A zona de resgate entra em colisão com a parte inferior da alavanca, ocasionando seu deslocamento para trás, fazendo com que a parte superior se desloque para a frente e impulsionando a esfera para a frente, arremessando-a na zona de resgate.

Foi colocado um elástico para impedir a movimentação indesejada da alavanca durante a rodada.

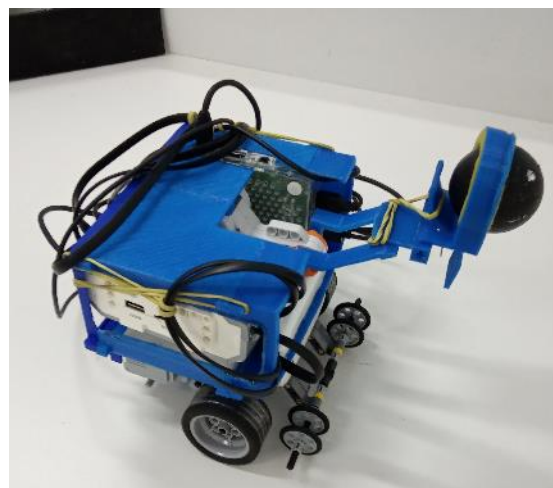


Figura 9 - Garra com bolinha

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os primeiros testes, concluiu-se que diversos ajustes ainda precisariam ser feitos e que o robô tinha ficado muito pesado. Os resultados de tamanho e peso podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Medidas.

Nome	Valor
Peso	1,392 kg
Altura	152mm
Largura	177mm
Comprimento sem garra	215mm
Comprimento com garra	290mm

Apesar do tamanho do robô ainda não ser tão pequeno quanto o desejável, nem o peso, levando em conta a quantidade de componentes diferentes que precisavam ser encaixados, o robô ficou com um tamanho razoável. Sua performance nas diferentes partes do desafio ainda está sendo analisada e melhorada com o tempo.

Resultados como o alcançado nos levam a questionar os limites físicos e mecânicos do robô, e até quanto ele pode ser reduzido, levando em conta o tamanho fixo dos equipamentos que o compõem. O resultado que foi obtido pode não ser a solução ideal, mas pode servir como base para que melhores soluções possam ser alcançadas futuramente.

A Figura 10 ilustra a arquitetura do robô finalizada.

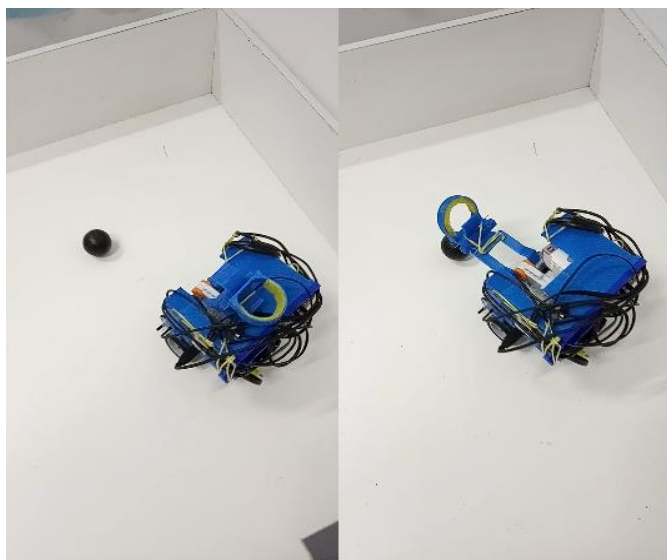


Figura 10 - Robô montado

10 CONCLUSÕES

Com esse trabalho pôde-se concluir que a produção de um robô que se encaixe no molde perfeito para a Olimpíada Brasileira de Robótica é uma tarefa trabalhosa, e pode requerer diferentes abordagens. A abordagem utilizada foi uma tentativa de adequar às necessidades do desafio a um robô que utilizasse peças dos kits Lego. O processo de desenvolvimento exigiu muita dedicação, porém o resultado foi satisfatório.

Embora o tamanho ainda seja grande, pode ser um ponto forte se levado em consideração a quantidade de aparelhos com tamanho fixo que estão incluídos em sua estrutura.

Algumas das técnicas utilizadas podem ser substituídas por outras mais eficientes, que não foram utilizadas pelo grupo devido à falta de sua disponibilidade.

O material de impressão PLA pode ser substituído por ABS, que é um material mais resistente, e que promove menos variações nas medidas desejadas.

Além disso, o celular pode ser substituído por uma câmera, o que faria com que menos espaço fosse consumido, deixando facultativa a inclusão de um acelerômetro para obter informações sobre a inclinação do robô.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banggood. Prusa I3, 2019. Disponível em: <https://pt.banggood.com/Geetech-Prusa-I3-Pro-W-DIY-3D-Printer-200x200x180mm-Printing-Size-Support-Wi-Fi-Connect-p-1166697.html?cur_warehouse=CN>. Acesso em: 16 ago. 2019.
- Garrett, Filipe. Como funciona o Raspberry Pi? Entenda a tecnologia e sua aplicabilidade. Techtudo, 2014. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/11/como-funciona-o-raspberry-pi-entenda-tecnologia-e-sua-aplicabilidade.html>>. Acesso em: 19 jul. 2019.
- Renkforce, Repetier-Host. 2019. Disponível em: <<https://www.repetier.com/download-now/>>. Acesso em: 16 ago. 2019.
- Veras, Leonardo. LEGO MINDSTORMS EV3. 2014. EXAME. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/tecnologia/lego-mindstorms-ev3/>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

Observação: O material multimídia deste trabalho encontra-se disponível em: www.mnr.org.br/mostravirtual.