|  |  |
| --- | --- |
| PIBITI | PROJETO DE PESQUISA |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TÍTULO DO PROJETO:  Melhoramentos em projeto aberto de braço robótico de 6 GDL para impressão em 3D visando a implementação de plataforma para ensino de robótica baseada no sistema ROS – *Robotic Operating System* | | | | | | | | | | | | |
| Área do Conhecimento (Tabela do CNPq): | **3** | **.** | **0** | **5** | **.** | **0** | **4** | **.** | **0** | **0** | **-** | **7** |

**1. RESUMO**

A crescente demanda por maior produtividade e qualidade e as diversas vantagens de utilização de manipuladores robóticos controlados por computador como maior precisão, flexibilidade no processo produtivo e melhores condições de trabalho humano tem tornado a robótica cada vez mais presentes nos sistemas industriais. Tal inovação tem chegado aos sistemas educacionais por meio da popularização dos ambientes de fabricação digital, os chamados *labMakers*, da metodologia STEM e da difusão cada vez maior de sistemas abertos ou *Open Source* como o Arduino, Raspberry Pi, repositórios de projetos para manufatura aditiva como Thingiverse. Nesse contexto tem crescido o desenvolvimento de projetos de sistemas robóticos para adoção nos sistemas educacionais de diferentes níveis. Este projeto propõe a adaptação do projeto aberto de um braço robótico de 6 graus de liberdade para impressão 3D visando sua utilização como plataforma para o ensino de robótica utilizando o sistema ROS nos cursos em cursos de graduação.

**2. PLANO DE TRABALHO**

Tabela 1 - Metas estabelecidas para a pesquisa.

|  |  |
| --- | --- |
| **METAS** | **DESCRIÇÃO** |
| **1** | Estudo dos conceitos fundamentais de robótica |
| **2** | Estudo do braço robótico existente fabricado por impressão 3D |
| **3** | Análise dinâmica computadorizada do braço robótico e documentação dos movimentos para mapeamento dos pontos que precisam ser melhorados |
| **RP** | Relatório Parcial entrega até 28/02/2023 |
| **4** | Projeto mecânico das partes a serem remodeladas para incorporação dos elementos de máquina e *encoders* rotativos |
| **5** | Fabricação por impressão 3D e montagem dos elementos do braço robótico |
| **6** | Montagem, teste e documentação do braço robótico adaptado |
| **RF** | Relatório Final entrega até 31/08/2023 |

Tabela 2 Cronograma proposta para cumprimento das metas.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **MESES** | | | | | | | | |  | | |  |
| **METAS** | SET | OUT | NOV | DEZ | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | |
| **1** | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| **2** |  | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| **3** |  |  | X | X | X | X |  |  |  |  |  |  | |
| **RP** |  |  |  |  | X | X |  |  |  |  |  |  | |
| **5** |  |  |  |  |  | X | X | X | X |  |  |  | |
| **6** |  |  |  |  |  |  |  | X | X | X | X |  | |
| **RF** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X | X | |

**3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Em um ambiente industrial há crescente demanda por produtividade e qualidade. Diversas são as vantagens da utilização de manipuladores robóticos controlados por computador, como maior precisão, flexibilidade no processo produtivo e melhores condições de trabalho humano (Spong & Vidysagar, 1991).

Braços robóticos são robôs industriais semelhantes ao braço humano em seu modo de operação sendo compostos por links rígidos interligados entre si por juntas e conectados a uma base (Costa et al., 2020). São utilizados em operações de montagem, fabricação e tarefas de seleção e colocação (pick and place).

Braços robóticos industriais são produtos com elevado valor agregado, entretanto, a popularização dos processos de manufatura aditiva tem viabilizado a sua concepção, projeto e fabricação dos componentes necessários por meio de projetos tridimensionais em CAD (Computer Aided Design). A manufatura por impressão 3D agrega grande agilidade e flexibilidade ao ciclo de projeto.

A adoção da metodologia STEM – do inglês, Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, na educação(*STEM: O Movimento, as Críticas e o Que Está Em Jogo - PORVIR*, n.d.) e a ampliação da disponibilidade dos espaços de fabricação digital, os chamados *LabMaker*, nas instituições de ensino tornaram a robótica educacional um campo de interesse nos processos educacionais por agregar diferentes áreas do conhecimento(Lobato De Souza & Elisiário, 2019; Nag et al., 2013; Sullivan & Heffernan, 2016).

A disponibilização de projetos abertos ou *OpenSource* para impressão 3D e para os sistemas embarcados utilizados no controle dos sistemas robóticos em diferentes plataformas como o Arduino, Raspberry, BeagleBone, ESP32, tem contribuído para que tais recursos sejam aplicados, com êxito, nos sistemas educacionais desde o ensino fundamental até graduação e pós-graduação (Araujo et al., 2013; Chebotareva & Gavrilova, 2019; Rezeck et al., n.d.; Tlegenov et al., 2014).

Por fim, a popularização da robótica tem incentivado a padronização da metodologia de projeto visando agilizar o desenvolvimento de novos produtos desde a pesquisa até a disponibilização do produto final. Com este objetivo foi desenvolvido o framework para desenvolvimento de robôs conhecido como ROS, Robotic Operating System, um novo padrão aberto de bibliotecas para o desenvolvimento de aplicações em robótica(*ROS: Why ROS?*, n.d.). O ROS tem-se tornado o padrão para o desenvolvimento de aplicações na indústria sendo seu conhecimento necessário aos estudantes de graduação nas áreas de mecatrônica e automação em todo o mundo (Alborzi et al., 2020; Cañas et al., 2020; Crick et al., 2012, 2017; Karalekas et al., 2019).

**4. OBJETIVO GERAL**

Adaptar o projeto aberto de um braço robótico de 6 GDL – graus de liberdade para fabricação por impressão 3D visando a melhoria de sua movimentação através da incorporação de elementos estruturais e de máquina que favoreçam um movimento mais suave e preciso e da incorporação de sensores de rotação – encoders que possibilitem o acompanhamento de suas variáveis dinâmicas de movimento em tempo real e a implementação de um modelo baseado na plataforma ROS – Robotic Operating System para fins educacionais em cursos de graduação e pós.

**5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Estudo dos conceitos fundamentais de robótica e geometria, tipos de robôs, cinética direta e reversa e suas aplicações;
2. Estudo do projeto do braço robótico existente fabricado em PLA – Ácido Poliláctico – estrutura, GDL, elementos atuadores, garra, firmware, software de movimentação e familiarização com seu funcionamento e operação;
3. Análise dinâmica do braço robótico para mapeamento dos pontos críticos que precisam ser melhorados para suavização e aumento da precisão dos movimentos;
4. Projeto e modelagem das partes do braço robótico ajustadas e com elementos de máquina incorporados conforme previsões da análise dinâmica e estudo dos movimentos;
5. Fabricação e montagem dos elementos robóticos por impressão 3D conforme projeto realizado;
6. Montagem, teste e documentação da movimentação do braço robótico adaptado e ajustado conforme projetos;
7. **METODOLOGIA DA EXECUÇÃO DO PROJETO**

A presente proposta está vinculada ao Núcleo de Robótica e Inteligência Artificial - NuRIA - criado no campus Hortolândia em 2017 por meio do projeto 468934/2014-6 CNPq aprovado por meio do edital CNPq-SETEC/MEC No 17/2014. Este projeto forneceu ao campus uma impressora 3D, kits de robótica Lego *Mindstorm*, ferramentas e materiais de consumo para fabricação e montagem de robôs para competições, além de criar no campus um núcleo de pesquisadores e estudantes interessados no tema. A implementação do curso de Engenharia de Controle e Automação a partir de 2020 disponibilizou estudantes com maturidade e conhecimentos adequados ao nível de complexidade desse projeto de desenvolvimento tecnológico.

O projeto de braço robótico com 6 graus de liberdade adotado nesse projeto foi disponibilizado no website de educação na área de engenharia mecânica, elétrica e computação – HowToMecatronics (DIY Arduino Robot Arm with Smartphone Control - How To Mechatronics, n.d.) de forma gratuita para fins educacionais. Um protótipo braço robótico fabricado por impressão 3D em PLA – Ácido Poliláctico montado no campus é mostrado na figura 1.

Uma imagem contendo Interface gráfica do usuário

Descrição gerada automaticamenteImagem de vídeo game

Descrição gerada automaticamente com confiança média

* + - * 1. (b)

Figura - Projeto do braço robótico impresso em 3D que será utilizado no projeto. (a) Nomenclatura elementos do braço robótico (b) Sistemas de Controle e Comunicação

Nesse projeto o robô é controlado por um Arduino UNO e possui seis servomotores, sendo três com engrenagens metálicas e com maior torque – MG995 para movimentação dos elos da base, ombro e cotovelo e três servos SG90 (microservos) para movimentação do punho em rotação e inclinação e da garra, vide figura 1a. Por ser um robô relativamente leve e para fins didáticos não foram utilizados drivers de potência para controles dos servomotores, apenas devendo ser observada a utilização de uma fonte externa para alimentação do sistema de controle.

A movimentação do robô é realizada a partir de uma interface desenvolvida para o sistema Android no MiT AppInventor (MIT App Inventor, n.d.) conforme mostrado na figura 2.

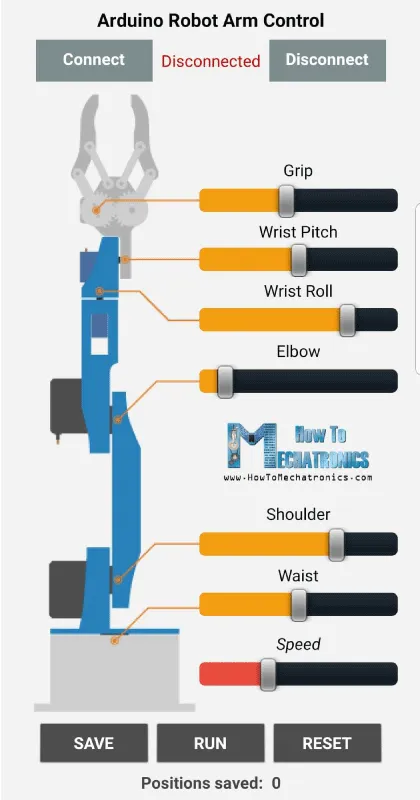


Figura 2 - Interface de comando do braço robótico para o sistema Android desenvolvida com o AppInventor(DIY Arduino Robot Arm with Smartphone Control - How To Mechatronics, n.d.)

Tanto o firmware de controle no Arduino quanto o código do sistema de controle em linguagem de blocos no MIT AppInventor foram disponibilizados de maneira aberta pelo autor para que pudessem ser adequados conforme necessidades.

Para a parte mecânica os arquivos do modelo 3D foram disponibilizados na plataforma Thingiverse(*Thingiverse - Digital Designs for Physical Objects*, n.d.) e foram baixados para os softwares de modelagem 3D OnShape(*Onshape | Product Development Platform*, n.d.) e *TinkerCad* para facilitar seu acesso e compartilhamento.

Uma imagem contendo mesa, azul, grande, corte

Descrição gerada automaticamenteUma imagem contendo quarto

Descrição gerada automaticamente

Figura - Modelos STL do braço robótico disponibilizados no Thingiverse e compartilhados no software OnShape

Para o desenvolvimento do projeto inicialmente deverá ser realizado uma revisão dos conceitos fundamentais de robótica tais como tipos de robôs e aplicações, nomenclaturas dos elementos, cinemática direta e reversa e sua programação. Tal revisão visa amparar os estudos posteriores do projeto.

Na sequência serão realizados estudos e testes com o protótipo de braço robótico já fabricado visando analisar sua operação e controle e detectar pontos que podem ser melhorados em sua estrutura para que sua movimentação ocorra de maneira mais precisa e suave. Eventualmente nessa etapa também poderão ser realizados ajustes no software de controle que favoreçam essas melhorias. A próxima etapa é a realização de análise dinâmica com os softwares CAD *Inventor* e *OnShape*, disponíveis no campus, para definição de parâmetros dinâmicos do modelo de braço robótico fabricado. Deverão ser informadas características reais dos materiais utilizados no modelo para que as simulações ocorram de maneira mais precisa possível. A partir deste ponto deverão existir resultados empíricos e obtidos numericamente dos pontos a serem aperfeiçoados no projeto.

O projeto e adequação do projeto mecânico das partes do robô deverá ser realizada na sequência utilizando o software *OnShape*. Deverão ser previstos encoders rotativos para mapeamento dos ângulos de rotação das juntas do robô e a inclusão elementos de máquina, tais como rolamentos, para suavização e aumento da precisão da movimentação dos elos do braço robótico. Essa etapa prevê o ciclo projeto - fabricação em 3D – revisão de parâmetros, até que os projetos estejam adequados.

Por fim, o braço robótico deverá ser inteiramente montado e deverá ser realizada nova caracterização do conjunto via simulação 3D e empiricamente utilizando o software de controle. O projeto aprimorado deverá ser disponibilizado em plataformas abertas na web para a comunidade.

**7. VIABILIDADE DE EXECUÇÃO**

O projeto será realizado inteiramente nos laboratórios de projetos eletroeletrônicos, de eletrônica e LabMaker disponíveis no campus Hortolândia.

O campus Hortolândia também dispõe dos recursos para fabricação do protótipo adaptado, materiais de consumo, sensores, filamentos para impressão 3D bem como das impressoras utilizadas na fabricação. Também há disponibilidade de estudantes de engenharia em controle e automação em módulos mais avançados no curso e maturidade e conhecimentos necessários ao projeto.

O campus dispõe de um corpo técnico em eletrônica e mecânica que atua em diversos cursos atualmente oferecidos e que poderá contribuir com o projeto.

Desta forma, o projeto mostra-se bastante viável de ser executado com os recursos disponíveis atualmente no campus.

**8. RESULTADOS ESPERADOS E DISSEMINAÇÃO**

Este projeto visa fomentar entre estudantes e professores do curso de engenharia de controle e automação os conhecimentos de robótica necessários à sua inclusão no mercado profissional. A disponibilização de um modelo de projeto de braço robótico aberto que poderá ser replicada e aperfeiçoada por estudantes e professores ao longo dos anos incentiva o desenvolvimento de novas ideias e aplicações na área de robótica, manufatura e indústria 4.0.

Adicionalmente, a realização desse projeto possibilitará futuras implementações de controle do braço robótico utilizando o sistema ROS, uma vez que teremos a movimentação das juntas devidamente mapeadas, o que possibilitará o desenvolvimento de modelos cinéticos mais avançados, simulações de movimentação utilizando o Gazebo (Gazebo, n.d.).

Os resultados desse projeto deverão ser divulgados por meio de participações em congressos, publicações em periódicos dedicados e também pelos meios de comunicação – TV, rádio e outros.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Alborzi, Y., Jalal, B. S., & Najafi, E. (2020). *ROS-based SLAM and Navigation for a Gazebo-Simulated Autonomous Quadrotor; ROS-based SLAM and Navigation for a Gazebo-Simulated Autonomous Quadrotor*. https://doi.org/10.1109/REM49740.2020.9313875

Araujo, A., Portugal, D., Couceiro, M. S., & Rocha, R. P. (2013). Integrating Arduino-based educational mobile robots in ROS. In *2013 13th International Conference on Autonomous Robot Systems*. https://doi.org/10.1109/Robotica.2013.6623520

Cañas, J. M., Perdices, E., García-Pérez, L., & Fernández-Conde, J. (2020). A ROS-based open tool for intelligent robotics education. *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(21). https://doi.org/10.3390/app10217419

Chebotareva, E., & Gavrilova, L. (2019). Educational Mobile Robotics Project “ROS-controlled Balancing Robot” Based on Arduino and Raspberry Pi. *2019 12th International Conference on Developments in ESystems Engineering (DeSE)*. https://doi.org/10.1109/DeSE.2019.00047

Costa, J., Machado, T., & Carneiro, M. (2020). Implementation and Validation of Thor 3D Printed Open Source Robotic Arm; Implementation and Validation of Thor 3D Printed Open Source Robotic Arm. In *IEEE Latin America Transactions* (Vol. 18).

Crick, C., Jay, G., & Osentoski, S. (2012). ROS and Rosbridge Roboticists out of the loop Categories and Subject Descriptors. *7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*.

Crick, C., Jay, G., Osentoski, S., Pitzer, B., & Jenkins, O. C. (2017). Rosbridge: ROS for non-ROS users. *Springer Tracts in Advanced Robotics*, *100*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29363-9\_28

*DIY Arduino Robot Arm with Smartphone Control - How To Mechatronics*. (n.d.). Retrieved June 14, 2022, from https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/diy-arduino-robot-arm-with-smartphone-control/

*Gazebo*. (n.d.). Retrieved June 14, 2022, from https://gazebosim.org/home

Karalekas, G., Vologiannidis, S., & Kalomiros, J. (2019). EUROPA-a ROS-based open platform for educational robotics. *Proceedings of the 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019*, *1*. https://doi.org/10.1109/IDAACS.2019.8924409

Lobato De Souza, T., & Elisiário, L. S. (2019). Educational Robotics Teaching with Arduino and 3D Print Based on Stem Projects; Educational Robotics Teaching with Arduino and 3D Print Based on Stem Projects. *2019 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2019 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2019 Workshop on Robotics in Education (WRE)*. https://doi.org/10.1109/LARS-SBR-WRE48964.2019.00078

*MIT App Inventor*. (n.d.). Retrieved June 19, 2022, from https://appinventor.mit.edu/

Nag, S., Katz, J. G., & Saenz-Otero, A. (2013). Collaborative gaming and competition for CS-STEM education using SPHERES Zero Robotics. *Acta Astronautica*, *83*, 145–174. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.09.006

*Onshape | Product Development Platform*. (n.d.). Retrieved June 14, 2022, from https://www.onshape.com/en/

Rezeck, P. A. F., Azpurua, H., & Chaimowicz, L. (n.d.). *HeRo: An Open Platform for Robotics Research and Education*.

*ROS: Why ROS?* (n.d.). Retrieved June 19, 2022, from https://www.ros.org/blog/why-ros/

Spong, M. W., & Vidysagar, M. (1991). *Robot Dynamics and Control*. Wiley and Sons.

*STEM: o movimento, as críticas e o que está em jogo - PORVIR*. (n.d.). Retrieved June 19, 2022, from https://porvir.org/stem-o-movimento-as-criticas-e-o-que-esta-em-jogo/

Sullivan, F. R., & Heffernan, J. (2016). Robotic Construction Kits as Computational Manipulatives for Learning in the STEM Disciplines. *Journal of Research on Technology in Education*, *48*(2). https://doi.org/10.1080/15391523.2016.1146563

*Thingiverse - Digital Designs for Physical Objects*. (n.d.). Retrieved June 14, 2022, from https://www.thingiverse.com/

Tlegenov, Y., Telegenov, K., & Shintemirov, A. (2014). An Open-Source 3D Printed Underactuated Robotic Gripper. In *2014 IEEE/ASME 10th International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*. https://doi.org/10.1109/MESA.2014.6935605