

ESTUDO DE CASO PARA INTEGRAÇÃO DE UM BRAÇO-ROBÓTICO A UM PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D

Caroline Damaceno

Gustavo Cabral Belarmino

Miguel Justus Rozanski

Poliana Prebianca Poletto

Vinicius Santana da Costa

Renato Sellaro Dorighello

RESUMO

O objetivo deste trabalho é elaborar um estudo de caso para a implementação de um braço robótico colaborativo como ferramenta de auxílio na logística de remoção de peças feitas por uma impressora 3D em um laboratório de inovação. Foi desenvolvida uma solução IoT para monitorar o tempo e a frequência de impressão da máquina através de um banco de dados e enviar um sinal ao robô para que este dê início à sua rotina de movimentação. Foram utilizados softwares de simulação para recriar o ambiente do laboratório em questão, bem como planejar a melhor trajetória do braço robótico.

Palavras-chave: Robótica colaborativa; Integração IoT; Impressão 3D; Indústria 4.0, Simulação de Trajetória.

CASE STUDY FOR INTEGRATION OF A ROBOTIC ARM TO A 3D PRINTING

PROCESS

ABSTRACT

The main goal of this work is to elaborate a case study for the implementation of a collaborative robotic arm as an aid tool in the logistics of removing pieces made by a 3D printer in an innovation laboratory. An IoT solution was developed to monitor the machine's printing time and frequency through a database and send a signal to the robot so that it starts its movement routine. Simulation software was used to recreate the laboratory environment in question, as well as to plan the best robotic arm trajectory.

Key words: Collaborative robotics; IoT integration; 3D printing; Industry 4.0, Trajectory Simulation.

1 INTRODUÇÃO

Desde a primeira tentativa de patente de prototipagem rápida utilizando impressão 3D em 1980, houve muitos aprimoramentos que possibilitaram uma revolução no modelo de fabricação mundial. De acordo com Volpato (2017), o conceito inicial de um projeto de impressão 3D se dá através do objeto em um modelo tridimensional digital, usualmente representado geometricamente em um sistema CAD (*computer-aid design*). Após o desenvolvimento geométrico da peça, deve-se obter o modelo num formato específico para manufatura aditiva, sendo normalmente um padrão representado por uma malha de triângulos. Por exemplo, o STL (*StereoLithography*) ou AMF (*additive manufacturing format*). Em seguida, ocorre a impressão realizada camada por camada com a adição do material escolhido para o projeto. Pode-se ver o processo de impressão na Figura 1.

Figura 1 - Representação do processo de impressão 3D.



Fonte: AZEVEDO, Fábio Mariotto de et al. Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D. P. 17

Atualmente, é possível encontrar o uso de impressoras 3D em diversas áreas, desde a indústria automobilística à saúde com a impressão de órgãos e tecidos. Através desse modo de produção, as empresas criam peças e equipamentos com poucas ou até nenhuma restrição geométrica, podendo também customizar o produto da forma desejada. Com tal liberdade criativa, a empresa que motivou este estudo de caso possui em sua sede um Laboratório Criativo. Nele, explora-se novas abordagens para tecnologias e solução de problemas no contexto da fábrica desta empresa, indo do uso de impressoras 3D para a impressão de peças inovadoras ao uso de óculos de realidade virtual para auxiliar na imersão durante o desenvolvimento de um projeto. Atualmente

um dos desafios do Laboratório Criativo é a inclusão de robôs colaborativos e inteligência artificial nas atividades da empresa com o intuito de otimizar o trabalho com sistemas automatizados.

A implantação de robôs de forma colaborativa na indústria 4.0 ganha ênfase à medida que os processos de fabricação industrial são aprimorados durante os anos de ascendente evolução, 69% das indústrias brasileiras fazem uso de tecnologia digital e a tendência é que este número cresça cada vez mais, já que em 2016, eram apenas 48%, como mostra a Sondagem Especial Indústria 4.0, da Confederação Nacional da Indústria (CNI). Entidades estão também investindo muito neste meio tecnológico industrial, setor que tem muito o que aproveitar quanto a eficácia das máquinas, otimização de custos, diminuição de desperdícios e melhor aproveitamento de energia.

Um trabalho coordenado ou um sistema de trabalho é caracterizado como colaborativo se for possível identificar a interação entre o agente operador e a máquina robótica durante a realização de uma atividade (PESHKIN; COLGATE, 1999), de forma com que o trabalho não seja tão exaustivo para o operador. Com o uso de um robô colaborativo, o robô repete sequencialmente aquilo que o agente operador comanda enquanto está presente fisicamente no mesmo espaço em que a máquina. Com uma interface simples, os robôs colaborativos, ou *cobots*, tem a capacidade de “aprendizado”, de forma com que o agente pode ensiná-lo - programando-o e reprogramando quando necessário - movimentando o braço robótico ao longo do trajeto necessário e demarcando a atividade que será realizada, dessa forma o robô “lembrará” os movimentos e os realizará quando necessário. Visando a praticidade do uso dos robôs colaborativos no dia a dia de uma indústria, surgiu a proposta de incrementá-los como parte do Laboratório Criativo da empresa.

O uso do robô no laboratório criativo se daria através de sua integração com a impressora 3D *Stratasys F370* para tomar a função da retirada da peça finalizada da impressora, colocá-la numa superfície apropriada para a armazenagem e inserir outra bandeja na área de impressão. Essa integração resolveria algumas situações pontuais que atrapalham os processos do laboratório, uma delas é inerente ao tempo de impressão, que demanda um colaborador "parado" com a função de tirar a peça da impressão, uma vez finalizada. Outro empecilho surge quando a peça fica pronta fora do horário de trabalho, fazendo com que a impressora fique parada com a peça pronta, aguardando sua retirada

O projeto tem como objetivo suprir a demanda da empresa desenvolvendo uma

lógica de programação que cumpra os requisitos básicos de trajetória, e fazer a comunicação wireless entre a impressora e o braço robótico.

2 METODOLOGIA

Para solucionar a problemática de inclusão do robô colaborativo como um facilitador para retirar a peça no final da impressão, foram realizados estudos de viabilidade para projetar uma melhor solução dentre as possibilidades existentes. Especificou-se um hardware para possibilitar a comunicação com o robô e foram desenvolvidos um banco de dados para monitoramento do processo e a linguagem de programação para a trajetória do robô.

2.1 Hardware

Foram especificados hardware e sensores de modo a criar uma solução IoT cujo intuito é receber o sinal que identificam quando a impressora 3D (*Stratasys F370*) finaliza a impressão da peça e comunicar ao robô que deve ser feita a retirada da bandeja. O microcontrolador utilizado é o ESP32, ilustrado na Figura 2, com o objetivo de receber esses sinais via protocolo *Wi-Fi* e estabelecer a comunicação com o braço robótico Kuka LBR, ilustrado na Figura 3, e armazenar as informações deste processo em um banco de dados.

Figura 2 – ESP32



Fonte: AB Robótica.

Figura 3 – Robô KUKA LBR iiwa


Fonte: *Site oficial KUKA.*

O projeto foi desenvolvido e validado a partir de simulações com o software CoppeliaSim, no qual foi planejado o layout da sala e analisada a dinâmica do sistema como um todo, podendo assim sanar o problema com qualidade, segurança e sistemas de automação.

2.1.1 Robô KUKA LBR iiwa

O robô já disponível no local de aplicação deste projeto é um robô industrial KUKA da série LBR iiwa. Esses robôs pode ter diversas atividades dentro de uma indústria, desde fundição, pintura até montagem e movimentação de cargas, assim livrando os funcionários de trabalhar em atividades não ergonômicas

O robô Kuka LBR iiwa é o primeiro robô sensível fabricado na série dos Kuka, hábil para a colaboração homem-robô, podendo assim realizarem diversas tarefas sensíveis juntos obtendo máxima eficiência nessas atividades.

O modelo LBR iiwa é um robô extremamente rápido nas reações, devido a sensores de torque instalados em suas articulações, podendo manipular componentes sensíveis sem problema nenhum, mas também pode manusear componentes mais pesados, existem 2 modelos desse robô onde suportam até 7 ou 14 quilogramas de carga em seus braços mecânicos (KUKA, 2016).

2.1.2 ESP32

O ESP32 foi especificado para este projeto por ser um microcontrolador que oferece alta performance e processamento para aplicações *IOT* de comunicação sem fio,

possuindo baixo consumo de energia, um microprocessador *Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6*, com um *clock* máximo de 240 MHz, memória RAM de 520 *quilobytes* e *Flash* de 4MB (Adrobotica, 2022).

2.2 Banco de dados

Com o banco de dados, as paradas da Impressora 3D são salvas junto com as datas e os horários correspondentes. Esses dados são utilizados como entrada para uma lógica que identifica se houve uma nova parada após o último horário de leitura, evitando erros como retirar a bandeja desnecessariamente em meio aos ciclos. O sistema de gerenciamento de banco de dados adotado foi o MySQL, que é atualmente um dos sistemas mais usados com mais de 10 milhões de instalações pelo mundo (Oracle Corporation, 2022).

2.3 Programação do Robô

Com a comunicação da impressora integrada a um banco de dados, foi elaborada a programação e simulação do braço robótico através do software Coppeliasim.

A linguagem de programação Lua (Figura 4), utilizada na programação do robô, tem um vasto campo de atuação no ramo industrial, com o objetivo de oferecer metamecanismos na implementação de construções. Os metamecanismos possibilitam o desenvolvimento de uma semântica diferenciada e objetiva. Por ser uma estrutura pequena e rápida, é possível incluir o Lua na aplicação utilizada. A linguagem Lua estende-se à diversas bibliotecas com outras linguagens de programação, indo de C e C++ a Java, C#, *Smalltalk*, *Fortran*, *Ada*, *Erlang*, e outras linguagens de script, como *Perl* and *Ruby*.

Quanto a plataformas de uso, o Lua compila em todas as plataformas que têm um compilador C padrão, podendo ser *Unix*, *Windows*, microprocessadores embutidos como *ARM* e *Rabbit*, *mainframes IBM*, e, também, em dispositivos móveis, utilizando *Android*, *iOS*, *BREW*, *Symbian* e *Windows Phone*. (Matinelli et. al, 2013)

Figura 4 – Logo do LUA.



Fonte: Site oficial do LUA.

No fluxograma da Figura 5 apresenta-se a dinâmica e os principais equipamentos utilizados para o funcionamento do conjunto hardware-software.

Figura 5 – Esquema de integração.



Fonte: Autoria própria.

3 RESULTADOS

Foi desenvolvida uma simulação utilizando o *software CoppeliaSim* para auxiliar na visualização do funcionamento do robô colaborativo. O modelo de robô disponibilizado no *software* é equivalente ao KUKA presente na empresa solicitante da demanda. No entanto, a impressora 3D não possuía um modelo cinemático equivalente, então, alguns detalhes, como o modo de abertura da porta da máquina, não foram simulados com exatidão e foi necessário adaptar a programação para melhor adequar ao modelo disponível. Neste cenário, o projeto obteve sucesso em seu propósito.

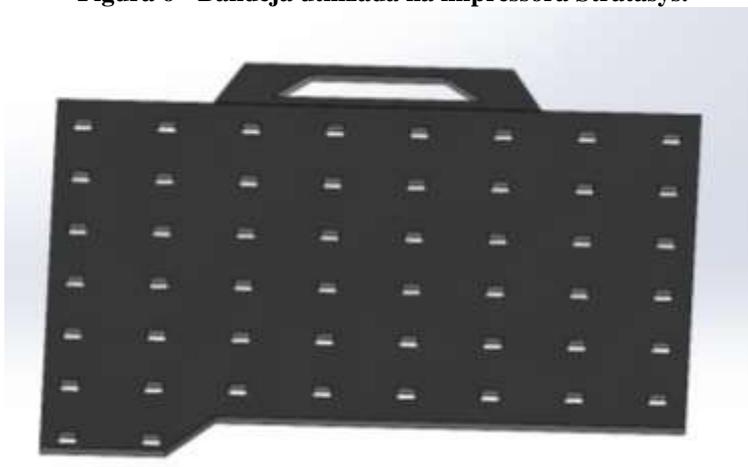
Infelizmente, devido a questões logísticas e ao cronograma do semestre letivo, não foi possível realizar testes físicos na empresa a tempo da finalização do projeto, apenas virtuais. No entanto, após uma visita realizada ao laboratório no final do semestre, alguns tópicos foram levantados e devem ser considerados para ajustes da proposta inicial:

- 1) O KUKA pode ser programado utilizando a linguagem JAVA orientada a objetos em sua interface de programação;
- 2) Não é possível utilizar um sensor ultrassônico convencional na impressora *Stratasys*, uma vez que a temperatura atingida durante o processo de impressão pode danificar os sensores dentro do equipamento e um sensor deixado fora da máquina não conseguiria captar o final da impressão, tendo em vista a espessura da porta e a coloração do vidro de proteção;
- 3) Deve-se considerar alguns detalhes ao colocar a bandeja para a impressão, como por exemplo a pressão que precisa ser aplicada no encaixe e o engate da bandeja na plataforma da impressora;
- 4) Existe a possibilidade de casos extraordinários de erro ou alertas que irão além do que o robô está programado para fazer, nesses casos ele continuaria em estado de espera, portanto, seria necessário a intervenção de um operador.

Levando em consideração os pontos abordados, seria necessária a reanálise do que foi proposto inicialmente para que o projeto se adapte às limitações físicas e torne-se mais eficiente.

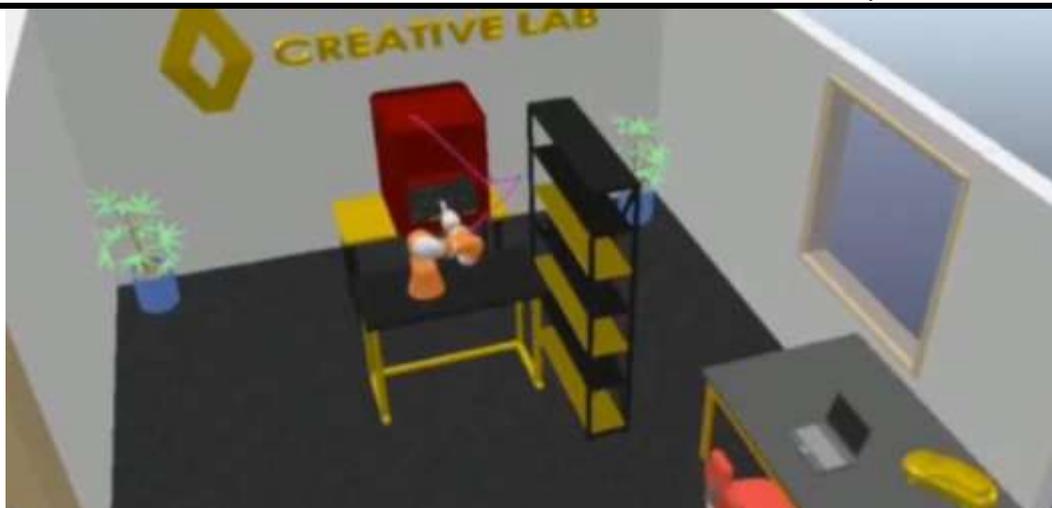
Utilizando o CoppeliaSim, foi desenvolvida uma simulação para visualizar a movimentação básica de como o robô colaborativo se comportaria, sendo ela: abrir a porta da impressora 3D, colocar a bandeja para a impressão (o modelo utilizado está representado na Figura 6), fechar a porta da impressora, aguardar o processo, abrir a porta para retirar a bandeja, retirar a bandeja e fechar a porta. O ciclo básico de trabalho seria este.

Figura 6 - Bandeja utilizada na impressora Stratasys.



Fonte: Autoria própria.

Para aumentar a imersão durante o desenvolvimento do projeto, além da programação, foi criada uma ambientação para o laboratório. Na Figura 7, é possível visualizar o robô colaborativo retirando a peça da impressora, a linha rosa na figura representa a rota feita pelo robô desde a sua posição inicial (ponto mais alto) até o ponto determinado para retirar a peça. Na Figura 8, podemos visualizar o robô colocando a peça no local onde será realizado o armazenamento delas, na simulação optou-se por uma estante.



Fonte: Autoria própria.

Figura 8 - Robô colaborativo posicionando a peça no local de armazenamento.



Fonte: Autoria própria.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A princípio, o projeto parecia não dispor de muitos detalhes físicos que necessitavam de atenção, no entanto após a visita ao laboratório, ficou evidente que seria necessário reavaliar alguns pontos que até então não eram visíveis, como a pressão necessária para fixar a bandeja de impressão, a espessura e coloração da porta da *Stratasys*, assim como a temperatura da impressão, que impossibilitaria o uso de um sensor convencional.

Após ter contato com os equipamentos, a melhor solução para identificar quando a impressão foi finalizada seria através de um *software* que possa interpretar os estágios

da impressão. Assim, além de saber como está o andamento do processo, seria possível também identificar casos extraordinários que fogem da capacidade do robô e exigem a atenção de um operador.

Para objetivos de viabilidade de projeto, o trabalho foi satisfatório, uma vez que a trajetória do robô foi desenvolvida corretamente, bem como o banco de dados e todas as informações necessárias para a implementação física foram levantadas e ponderadas. Para elevar o potencial do projeto ao máximo, seria interessante realizar a implementação com profissionais da área de automação industrial em conjunto com profissionais da área de engenharia de software, desenvolvendo uma solução tecnologicamente mais robusta e adaptável a vários cenários.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Fábio Mariotto de et al. **Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ESP32 DevKit v1. AD ROBÓTICA, 2018-2022. Disponível em: <<https://www.adrobotica.com/produto/modulo-wifi-esp32-bluetooth/>>. Acesso em 07 de junho de 2022.

GARCIA, Neyfla. **Indústria 4.0: 69% das indústrias brasileiras fazem uso de tecnologia digital**. Agência de Notícias da Indústria, 2022. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/industria-40-69-das-industrias-brasileiras-fazem-uso-de-tecnologia-digital-no-brasil/>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

KUKA. **Sistemas de Robô**. Disponível em: <<<https://www.kuka.com/pt-br/produtos/servicos/sistemas-de-robô/robôs-industriais/lbr-iiwa>>> Acesso em 13 de maio de 2022.

MARTINELLI, Ruan R.; SIMONASSI, Káio C. F. TAVARES, Felipe P. C.. Seminário Lua – UFES. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~vitorsouza/archive/2020/wp-content/uploads/teaching-lp-20132-seminario-lua.pdf> >> Acesso em 10 de maio de 2022.

ORACLE. **MySQL**. Disponível em: << <https://www.oracle.com/mysql/> >> Acesso em 13 de maio de 2022.

PESHKIN, M.; COLGATE, J. E. **Cobots. Industrial Robot**. v. 26, n. 5, p. 335-341. An International Journal, 1999. Acesso em 09 de junho de 2022.

SANTONI, Fabiano; LUCATO, André Vicente Ricco. **Robótica Colaborativa: A Utilização de Robôs nos Processos Produtivos**. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, v. 1, n. 1, p. e210914-e210914, 2021.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. Editora Blucher, 2017.

Recebido em 27/03/2023.

Aprovado em 10/05/2023.