

DESENVOLVIMENTO DIGITAL TWIN PARA SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO PROCESSO DE UMA PLATAFORMA DE MANUFATURA ADITIVA ROBOTIZADA

João Vítor Arantes Cabral

Leonardo Felipe de Oliveira

Universidade de Brasília

jvarantescabraltrab@gmail.com, leoofelipe_@hotmail.com

Alberto José Álvares

Universidade de Brasília

albertoalvares@alvarestech.com

Resumo: A manufatura aditiva vem em constante crescimento e este tema está recebendo cada vez mais atenção de indústrias e do mundo acadêmico. Diferentemente da manufatura tradicional, a subtrativa, busca-se através da construção por camadas a redução do tempo de produção de peças complexas, o baixo custo e otimização do consumo de material, evitando desperdícios. Este trabalho apresenta um tipo de manufatura aditiva, a deposição de material por soldagem a arco, que será implementada através de uma fonte de soldagem e um robô ABB IBR 2600. A fim de criar um Digital Twin de uma Manufatura Aditiva de Metal, utilizar-se-á em um primeiro momento os programas RoboDK e ABB RobotStudio. Tal aplicação coloca em prática conceitos relacionados à Internet das Coisas (IoT) e Internet das Coisas Industriais (IIoT), sendo neste trabalho aplicados para o monitoramento em tempo real de um ativo em laboratório. A normatização base para o desenvolvimento do Digital Twin em questão é a ISO 23247, que estabelece diretrizes para guiar a criação de sistemas de monitoramento e controle relacionados a serviços inerentes a aplicações recentes da Indústria 4.0. Através dessa norma, é possível determinar o interfaceamento entre domínios que fornecem serviços e aplicações ao usuário e também a outras camadas/domínios subsequentes. Na troca de dados entre cada domínio há a utilização de protocolos de comunicação que são comuns em aplicações IoT como MQTT, protocolos web como HTTP e WebGL para simulação de movimentação 3D no navegador além de protocolos de transmissão de dados entre máquinas como o RS 232, que neste projeto será utilizado para obter dados da célula de manufatura aditiva robotizada. Ademais, a tocha utilizada para deposição de material metálico na impressão 3D será descrita, projetada e aplicada na célula de manufatura; sendo assim o projeto é caracterizado não apenas pela criação de um modelo virtual do ativo, mas também pelo desenvolvimento dos aspectos funcionais necessários para a adaptação do robô para a manufatura aditiva.

Palavras-chave: Manufatura aditiva, Gêmeos Digitais, Internet das Coisas, Células de Manufatura Robotizadas.

1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva consiste em um processo de fabricação de geometria a partir de um modelo 3D, há diversos tipos desta tecnologia, entretanto sua ideia principal se mantém a mesma, que é a deposição de material em camadas, construindo a geometria do modelo. O processo inicia na construção de um modelo através de Software de CAD (Computer-Aided Design), em sequência é feita a etapa de fatiamento do modelo 3D, com auxílio de um software de fatiamento, ao finalizar essa etapa é gerado o código G que contém todos os comandos através de coordenadas cartesianas para o entendimento da máquina e construção de cada camada. A manufatura aditiva vem se tornando solução para conquistar uma maneira mais rápida e barata quando comparada com a maneira convencional de produção de peças.

Esta tecnologia se tornou um dos pilares da Indústria 4.0, pois se torna uma opção alternativa para as Indústrias de confecção de peças, impactando no custo com compra de peças para manutenção das máquinas, além de conseguir reduzir o tempo de chegada dessas peças, pois elas serão fabricadas "in house", isso pode gerar grandes retornos como pode ser visto em (WISHBOX. AMBEV, 2022). Com o avanço dessa tecnologia, é possível obter peças em inox, aço carbono, polímeros de alta resistência, aumentando performance de linhas produtivas e fazendo as indústrias criarem certa independência de seus fornecedores, gerando um sistema de conhecimento interno de projeto e desenvolvimento de peças e máquinas que é autônomo.

Como pode ser visto na Fig. 1, a Indústria 4.0 possui vários pilares:



Figura 1. Pilares da indústria 4.0, adaptado de (P. K. D. Pramanik, et. al. 2019)

Todos esses pilares são de extrema importância para a implementação de um conceito tecnológico, avançado, dinâmico, digital no chão de fábrica. O uso de internet das coisas vem sendo cada vez mais utilizado por ser a tecnologia capaz de reunir e transmitir dados através de uma rede que faz a conexão dos objetos físicos, nesse contexto entra o processamento em nuvem que inclui o uso da computação da nuvem e com isso, temos o uso de machine learning e inteligência artificial para definição de modelos de inspeção, buscando uma manutenção preditiva no processo produtivo, além do uso dos conceitos de big data e suas análises para trazer confiabilidade aos dados coletados e uma tomada de decisão a nível gerencial mais assertiva.

Neste trabalho, será apresentado um projeto de concepção de uma arquitetura Digital Twin para uma célula de manufatura aditiva robotizada com base no braço robótico ABB IRB 2600. Tal arquitetura será baseada na normatização proposta pela norma ISO 23247, que será retratada mais adiante na fundamentação teórica deste trabalho.

Na seção 2 será descrita a fundamentação teórica na qual se baseia a implementação deste projeto, em seguida serão citados trabalhos correlatos no contexto da manufatura aditiva assistida por Digital Twins na seção 3. Por fim nas seções 4 e 5 serão apresentadas a metodologia da arquitetura Digital Twin e os resultados obtidos, respectivamente.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho representa uma aplicação prática dos conceitos de Digital Twin, Internet das Coisas (IoT) e de células de manufatura aditiva (AM) robotizadas. No âmbito da criação de Digital Twins (DT's), diversas tecnologias relacionadas a protocolos de comunicação são utilizadas, além disso geralmente a implementação de um DT se baseia em normatizações de fornecimento de serviços e aplicações relacionadas ao gêmeo digital. Outro aspecto a ser considerado é a movimentação do robô IRB ABB 2600, a qual deve ser levada em consideração ao ser utilizado para deposição de liga metálica, é possível que não seja obtida a precisão necessária para a produção de peças de qualidade e que possuam boa resistência mecânica e durabilidade. Ademais, nesse sentido há várias técnicas de deposição de material metálico que podem ser utilizadas a fim de imprimir as peças tridimensionais.

2.1. ISO 23247 e Digital Twins

A ISO 23247 (ISO 23247, 2021a, b, c, d) é uma norma recente concebida para a padronização de arquiteturas Digital Twin em aplicações de indústria e desenvolvimento de pesquisas. Tal norma estabelece um framework de apoio à criação de DT's de Elementos de Manufatura Observáveis (OMEs). A abrangência desses elementos inclui processos, serviços, equipamentos, entre outros aspectos de produção em um chão de fábrica e de integração de dispositivos em laboratórios. A norma em questão se demonstra importante para a difusão de aplicações da Indústria 4.0 por facilitar sua implementação

e reprodução em variados tipos de instalações, determinando modelos de análise de dados e manutenção preditiva, design de produtos e controle em tempo real de ativos fabris.

Em tal normatização, os modelos Digital Twin são categorizados e há a divisão destes em domínios. Cada um dos domínios possui a responsabilidade de fornecer serviços para domínios adjacentes além de implementar aplicações, tais aplicações podem ser de monitoramento e/ou de controle como por exemplo interfaces homem-máquina que transmitem informações ao supervisor de produção ou usuário final. Nas bordas de cada um desses domínios habilita-se a troca de dados com os domínios em sua borda através de protocolos de comunicação.

O primeiro domínio demonstrado na norma engloba ativos de chão de fábrica e dispositivos a serem monitorados em geral no DT, este domínio é denominado Elemento de Manufatura Observável (OME). Neste domínio, há a transmissão de variáveis dos ativos monitorados por dispositivos de campo ou pelo próprio ativo de manufatura, correspondendo à base de todo o DT; tais informações percorrerão posteriormente todos os domínios consecutivos.

O segundo domínio padronizado pela norma corresponde à Entidade de Coleta de Dados e Controle de Dispositivos (DCDCE), neste domínio há o componente responsável pela coleta de dados do maquinário monitorado a fim de estruturar informações e organizá-las de uma forma a ser facilmente compreendidas e transmitidas através do DT. Este é o domínio que irá se comunicar com a Entidade Digital Twin alimentando-a com dados coletados do OME.

O terceiro domínio denomina-se Entidade digital Twin, neste há a implementação do controle de acesso à recursos e informações, além de aplicações e serviços que compõem a base da interface DT e da subentidade de operação e administração de dados. Ademais, é neste domínio que há a modelagem para a simulação do DT e a base de serviços para o modelo de interface de exibição de dados que serão utilizados posteriormente pela Interface de Usuário Digital Twin.

Por último há o domínio chamado Interface de Usuário Digital Twin, o qual possibilita o monitoramento do ativo pelo usuário supervisor através de dashboards supervisórios e/ou simulação 3D de movimentação conforme o ativo real. Além disso há a possibilidade do monitoramento do histórico de dados coletados e controle em tempo real.

2.2. Conceitos relacionados à protocolos de comunicação e softwares utilizados

Em uma implementação de uma arquitetura Digital Twin, se faz necessário criar várias camadas e/ou domínios de serviços e aplicações que se comunicam umas com as outras. Isso se dá pelo fato de que desde a coleta de dados no nível físico com o ativo a ser monitorado até as Interfaces-Homem-Máquina (IHM) há vários interfaceamentos, transformações e estruturas de dados que devem acontecer a fim de implementar as aplicações relacionadas a um DT.

Tal interfaceamento ocorre por meio dos protocolos de comunicação, sejam eles relacionados à obtenção e transmissão de dados pro adaptador na camada física, estruturação e distribuição de mensagens ou até troca de informações entre aplicações web ou similares.

Nas próximas subseções, serão abordados protocolos utilizados na implementação do DT aqui presente (Ethernet e MQTT), além disso serão destacados os softwares utilizados no fatiamento das peças 3D projetadas.

2.2.1 Ethernet e MQTT

Um protocolo possível de ser implementado na comunicação com ativos a serem monitorados em arquiteturas Digital Twin é o protocolo Ethernet. Segundo Bernal (2022), o protocolo Ethernet é responsável pela transmissão de dados entre máquinas de uma mesma rede local. Tal transmissão se dá através de pacotes que são transmitidos a receptores identificados através de um sistema de endereçamento. Cada pacote possui tamanho variável e possui um cabeçalho contendo o tipo de dados sendo transmitidos além dos endereçamentos de destino e origem do pacote.

Por se tratar de um protocolo de comunicação bem veloz e versátil com uma banda larga bem expressiva, o protocolo Ethernet é comumente utilizado para transmissão de dados entre dispositivos de campo e dispositivos de controle/monitoramento de aplicações IoT. Não obstante, uma aplicação Digital Twin é passível de ser implementada com sua base de monitoramento de ativos fundamentada no protocolo Ethernet.

Da mesma forma, ao se observar a descrição do protocolo MQTT no site de sua organização em MQTT Org. (2022), tem-se que o protocolo MQTT é um protocolo de mensagens padrão para aplicações de Internet das Coisas. Uma das premissas desse protocolo é permitir transmitir mensagens através de dispositivos utilizando pouca banda de rede e poucos recursos em geral.

Este protocolo se baseia numa arquitetura Publisher - Broker - Subscriber na qual, após a coleta de dados por dispositivos de campo pelos publishers, tais dados são estruturados em mensagens que são publicadas ao broker. O broker então implementado em um servidor local realiza a distribuição dessas mensagens em tópicos que são assinados pelos subscribers, cada assinante recebe as mensagens relativas aos tópicos que assina.

2.2.2 Rhinno/Grasshopper e Adaxis/AI-build

Como o Slic3r realiza o fatiamento apenas nos eixos XYZ, para se utilizar de todos os graus de liberdade do robô IRB 2600 a fim de fabricar peças mais complexas, faz-se necessária a utilização de softwares de fatiamento mais complexos que permitem o controle da movimentação angular do robô.

Para trabalhar com 6 graus de liberdade XYZABC, controlando também as orientações ABC, para fabricar peças complexas é necessário desenvolver sistema de programação off-line de slicer que leve em conta a cinemática direta e inversa do robô e a geometria da peça que não é mais plana. Neste caso deve-se usar opções como Rhino/Grashopper com add-ons Robots (Kuka e ABB), ou sistemas focados em Manufatura Aditiva Robotizada como Adaxis ou AI-build, com custo de licença anual de 7 mil euros a 15 Euros, o que é impraticável para solução acadêmica, sendo necessário desenvolver soluções de programação offline de baixo custo para XYZABC.

2.3 Deposição de Material

Outro aspecto importante para o desenvolvimento de uma célula de manufatura aditiva é a forma pela qual o material é depositado para criar as peças 3D. Tendo em vista a deposição de material metálico, algumas técnicas serão descritas as quais podem ser utilizadas no projeto para a efetivação da manufatura pela célula robotizada com o robô ABB IRB 2600. Na manufatura aditiva de peças grandes usando células de manufatura aditiva robotizadas, são utilizadas geralmente a deposição de material por fusão de filamento e a manufatura aditiva por arco de arame (WAAM) descrita em Henckell et. al. (2020), que consiste na aplicação constante de calor em um arame de metal para a deposição deste em camadas. Uma empresa que utiliza o método WAAM na manufatura aditiva robotizada é a MX3D (2022), a qual também faz uso de robôs ABB como base para a impressão 3D de peças.

No entanto, esse projeto será focado na utilização de dois tipos de processos de deposição de material que serão descritos a seguir, o Laser Metal Deposition (LMD) e a soldagem de Transferência de Metal Frio ou Cold Metal Transfer (CMT).

2.3.1 LMD – Laser Metal Deposition

Como descrito em Selcuk C. (2013), esse processo de deposição se utiliza de um laser de alta potência para criar uma poça de fusão de metal na qual se funde metal em pó ou arame para criar uma trilha de soldagem. Tal metodologia se destaca pelo baixo impacto na resistência do material além de gerar menores distorções por possuir uma menor zona afetada pelo calor quando comparada com outros métodos, como por exemplo a soldagem a arco convencional.

Ao se colocar o bocal com a alimentação de material no suporte da ponta do robô juntamente com o laser de fusão, é possível realizar a impressão de peças metálicas através do controle da alimentação de material e ativação do laser, juntamente com a movimentação do robô.

2.3.2 CMT – Cold Metal Transfer

Outro método de deposição de material é a transferência de metal frio, que como descrita por Dutra J. C. et. al. (2013) deriva-se do processo de soldagem a arco MIG/MAG caracterizando-se pela transferência metálica por curto-circuito controlado. No CMT, além da forma da onda de corrente controlada, há o controle da velocidade e do sentido de avanço do arame.

A constante potência resultante do rápido chaveamento entre tensões altas e baixas permite a rápida fusão do metal a temperaturas mais baixas que os processos de soldagem MIG/MAG convencionais. Tais características permitem, no contexto da manufatura aditiva, a economia de tempo, materiais e consequentemente custo geral. Um exemplo da observação dessa redução nos custos de manufatura pela utilização do método CMT se verifica em Zhang Y. et. al. (2022), no qual há a redução de erros na deposição de material e o aumento da precisão desta.

Entretanto, por se fazer necessária uma fonte de soldagem no processo de manufatura, a complexidade geral da instalação da célula robótica e sua consequente representação na arquitetura Digital Twin é acentuada.

3. TRABALHOS CORRELATOS

Este trabalho representa uma aplicação prática dos conceitos de Digital Twin, Internet das Coisas (IoT) e de células de manufatura aditiva (AM) robotizadas. No âmbito da criação de Digital Twins (DT's), diversas tecnologias relacionadas a protocolos de comunicação são utilizadas, além disso geralmente a implementação de um DT se baseia em normatizações de fornecimento de serviços e aplicações relacionadas ao gêmeo digital. Outro aspecto a ser considerado é a movimentação do robô IRB ABB 2600, a qual deve ser levada em consideração ao ser utilizado para deposição de liga metálica, é possível que não seja obtida a precisão necessária para a produção de peças de qualidade e que possuam boa resistência mecânica e durabilidade. Ademais, nesse sentido há várias técnicas de deposição de material metálico que podem ser utilizadas a fim de imprimir as peças tridimensionais.

3.1. Gerenciamento de Dados Colaborativo para Sistemas de Manufatura Aditiva Habilitados por Digital Twin

No trabalho desenvolvido por Liu et. al. (2022), uma arquitetura DT baseada em nuvem é implementada para sistemas de manufatura aditiva baseados na deposição de material metálico. Neste trabalho são citadas diversas formas de

deposição de material metálico encontradas no mercado, tais como: fusão seletiva a laser, extrusão de material e jateamento de material.

A arquitetura do trabalho citado se baseia em módulos para planejamento de processos de produção, mecanismos de controle de qualidade, pós-processamento, manufatura e design de produto. Além das funcionalidades isoladas implementadas por esses módulos, há a inovação na forma de gerenciamento coletivo de dados através do uso da nuvem.

3.2. Interface para Células de Manufatura Aditiva Industriais Multimarcas

O segundo trabalho utilizado como base para este projeto é o desenvolvido em Zhu C. et. al. (2020), que demonstra a concepção de ambientes de simulação para a manufatura aditiva. Neste estudo, ferramentas CAD/CAM foram utilizadas para melhorar o ciclo de desenvolvimento de peças e produtos através de ambientes de simulação de fabricação e de linhas produtivas. Essa melhora pode ser feita através da análise prévia da impressão 3D de peças através de simulações.

Outro foco deste trabalho é a conversão de código G gerado por softwares de fatiamento em um código que pode ser interpretado pelos robôs das células de manufatura. O objetivo disso seria criar um sistema universal de CAD/CAM que funcionasse independentemente da marca do robô cuja saída seriam instruções de caminho interpretáveis pelo robô que realiza a impressão. Neste projeto especificamente, foram utilizados robôs Kuka e ABB para simulação e desenvolvimento do Digital Twin.

Além da conversão de código realizada, o trabalho também estabelece um modelo de Digital Twin para simulação da manufatura aditiva realizada nas células de trabalho. Isso se dá por meio de uma GUI de visualização de variáveis e caminho da ferramenta além da simulação 3D das células de manufatura robotizada.

3.3. Contributos para o Desenvolvimento de uma Célula Robótica para Produção Aditiva de Peças Metálicas

Na dissertação de Carlos Ye Zhu (2019) observa-se o desenvolvimento de metodologias de simulação de células de manufatura robotizadas utilizando-se dos softwares Slic3r e KUKA.SIM para simulação de uma célula baseada em um robô KR 60-3.

Através da utilização de um add-on programado em C# e um script em Python, tem-se a simulação da movimentação do robô em resposta a um input de código G para manufatura. Além disso, similarmente à proposta idealizada aqui, uma segunda simulação é feita utilizando o software RobotStudio com um robô ABB IRB140.

O trabalho apresenta enfim framework de simulação de manufatura aditiva utilizando como base células de manufatura robotizadas, dessa forma, através de uma GUI é possível observar a manufatura da peça na simulação antes que esta seja realizada no mundo físico.

4. METODOLOGIA

Primeiramente, pensou-se em simular a deposição de material metálico através do software de simulação RoboDK. Nele, um modelo 3D da célula de manufatura real presente no laboratório GRACO será desenvolvido de forma com que as peças projetadas em softwares de CAD/CAM possam ter seu código RAPID gerado para posterior interpretação pelo robô ABB IRB 2600.

Além disso, por se tratar de uma simulação, é possível ter uma ideia de como a peça ficará após ser fabricada pelo robô uma vez que a simulação passa por todo o processo de fabricação através de instruções de código G.

O robô IRB 2600 a ser monitorado e guiado pelas aplicações presentes na arquitetura digital Twin pode ser observado na Fig. 2. Esse ativo se encontra instalado no laboratório GRACO da Universidade de Brasília e toda a arquitetura Digital Twin idealizada será baseada nas configurações espaciais da instalação física do robô e mesa posicionadora ABB IRBP A250.



Figura 2. Célula de manufatura aditiva instalada no laboratório GRACO da UnB, composta pelo robô ABB IRB 2600 e mesa posicionadora robótica ABB IRBP A250 (De autoria própria)

4.1. Arquitetura Digital Twin baseada na norma ISO 23247

Como base da metodologia do projeto desenvolvido neste trabalho, optou-se por seguir a norma ISO 23247 descrita anteriormente a fim de planejar domínios de fornecimento de serviços e aplicações base para a implementação de um Digital Twin para a manufatura aditiva.

Primeiramente pensou-se em utilizar o protocolo MQTT para estabelecer o fluxo de dados entre os domínios, juntamente com o protocolo de transmissão de dados dos ativos monitorados RS-232 e/ou Ethernet. As variáveis coletadas seriam então estruturadas por um dispositivo adaptador e passadas através de mensagens seguindo a estruturação padrão do protocolo MQTT (Publisher-Broker-Subscriber).

Assim, se faz possível implementar um cliente para interfaceamento homem-máquina em um dashboard online ou local através do framework Node-RED. Outra visualização possível é a simulação 3D de movimentação do robô de acordo com variáveis coletadas no software RoboDK.

Tal arquitetura descrita pode ser observada na forma de domínios em conformidade com a norma ISO 23247 na Fig. 3. É possível que mudanças sejam realizadas ao longo do desenvolvimento deste projeto, uma mudança planejada é a inclusão de um fluxo para monitoramento através do software RobotStudio da ABB.

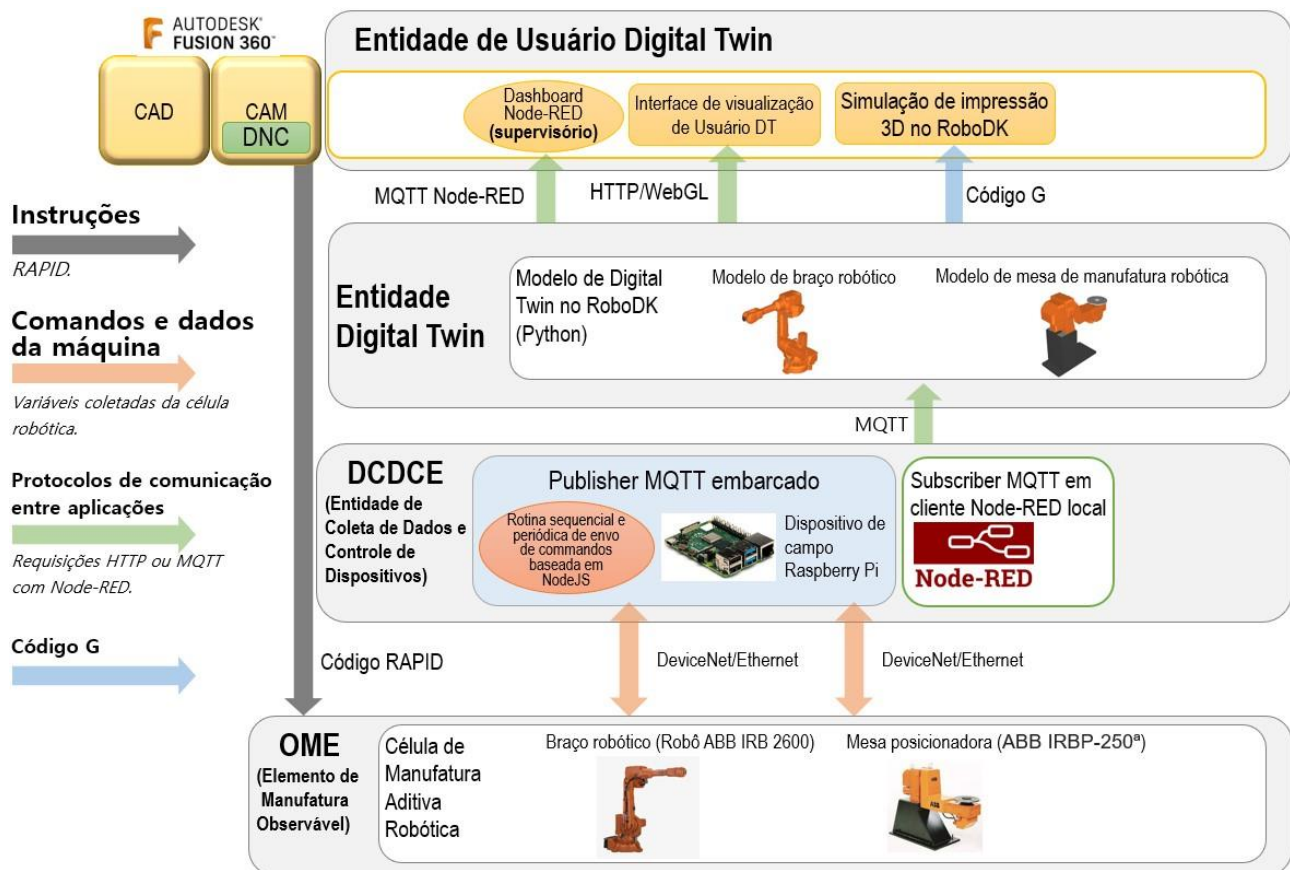


Figura 3. Estruturação do Digital Twin planejado com base na norma ISO 23247 (De autoria própria)

4.2. Simulação da impressão 3D

A simulação da impressão 3D das peças fabricadas poderá ser realizada utilizando o software RoboDK juntamente com o módulo de fatiamento de modelos 3D Slic3r. Dessa forma é possível gerar um caminho de ferramenta a ser percorrido pelo braço robótico ABB IRB 2600 através do código G gerado pelo Slic3r.

A vantagem de tal simulação é a possibilidade de enxergar a movimentação do robô de maneira prévia à execução da manufatura, dessa forma possíveis erros e incompatibilidades da movimentação podem ser identificados. Além disso, tal simulação possibilita visualizar como a peça vai ficar após a impressão.

4.3. Conversão de Código G para RAPID

Existem duas alternativas planejadas para a conversão de código G para RAPID a fim da execução da movimentação pelo robô ABB; a primeira é utilizar o software RoboDK para fazer essa conversão, a segunda é utilizar opções de pós-processamento de softwares de CAD/CAM e fatiamento como o software Fusion, que já realiza essa conversão.

Em um primeiro momento, portanto, escolheu-se a alternativa de pós-processamento do software CAD/CAM Fusion para realizar essa conversão.

5. RESULTADOS

Como presente resultado do projeto idealizado, tem-se a simulação da célula de manufatura robotizada formada pelo braço robótico ABB IRB 2600 e pela mesa robótica para usinagem ABB IRBP A250. Tal célula é representada na Fig. 4.

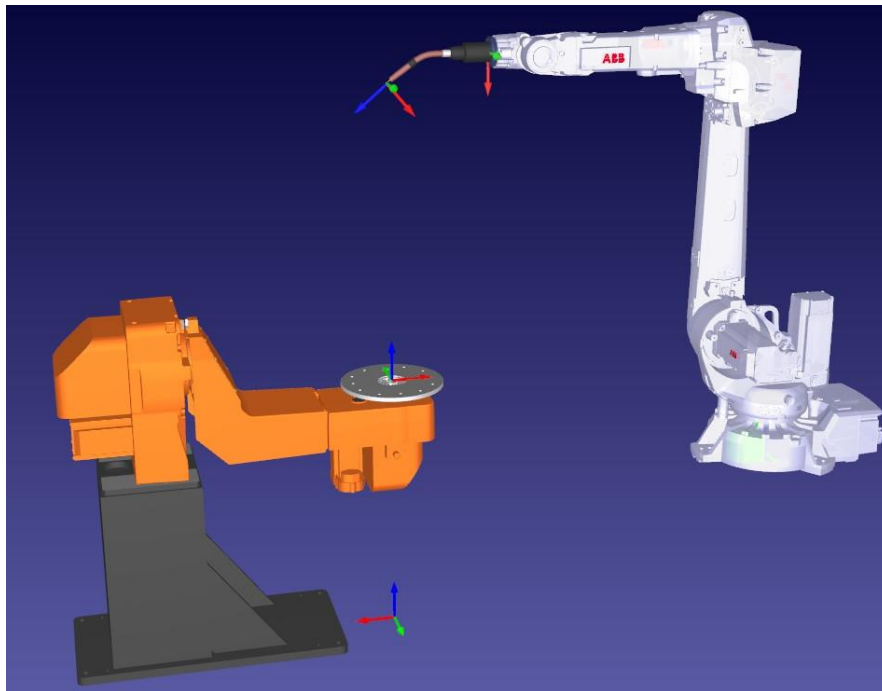


Figura 4. Modelo 3D da célula de manufatura aditiva a ser simulada (De autoria própria)

Além de compor o modelo base que poderá ser utilizado posteriormente para compor um Digital Twin da célula de manufatura em questão, é possível simular o feitiço de uma peça de maneira prévia à sua execução pelo robô. Dessa forma, tem-se uma ideia de como a peça ficará após a fabricação. Na Fig. 5 há uma demonstração dessa simulação.

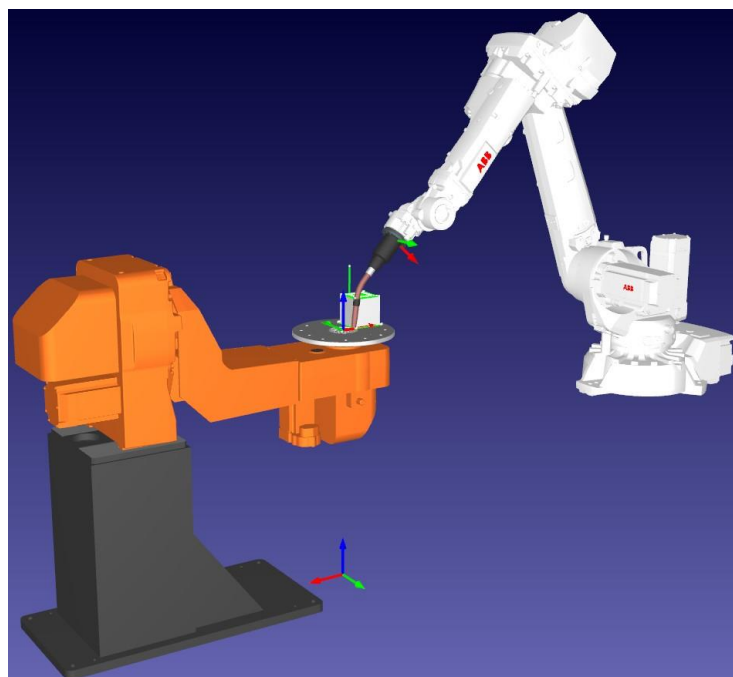


Figura 5. Simulação da impressão 3D de um cubo (De autoria própria)

Tal simulação é possível após instalar o módulo do programa de fatiamento de modelos 3D Slic3r, o qual realiza a conversão da peça 3D para um caminho a ser percorrido pela ferramenta, neste caso uma tocha para soldagem controlada pelo braço robótico em questão. Ao carregar a peça para o software RoboDK, então é possível configurar parâmetros para a simulação da impressão que será realizada.

Por fim, tem-se um pequeno vídeo demonstrativo da simulação e os passos necessários para tal no link em A. Cabral e De Oliveira (2022).

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho tivemos como objetivo apresentar como a impressão 3D vem se consolidando e que passou de ser apenas uma maneira alternativa de produção ou algo para hobbystas, os conceitos da manufatura aditiva vêm revolucionando o formato no qual as indústrias pensam em confecção de peças. Suas vantagens competitivas quando comparado com o formato de manufatura convencional são muito expressivas, a redução no custo da produção e a facilidade de customização são fatores altamente relevante para a competitividade dessas máquinas. Essa tecnologia é impactante em outros pontos como a redução de resíduo e fácil operação são diferenças quando comparados com a mão de obra de um torneiro ou operador CNC para confecção de peças.

O uso de braços robóticos para manufatura aditiva vem crescendo, isso é demandado pela versatilidade de um braço, robustez, repetibilidade e precisão. É possível visualizar uma grande oportunidade de crescimento desses componentes, e irmos ainda mais longe e pensar ainda mais longe no uso de utilizar esses robôs para manufatura híbrida, como o uso de usinagem para composição da célula de manufatura.

Pretende-se criar um modelo com auxílio dos RobotStudio e RoboDK um Digital Twin para visualização do processo de manufatura em tempo real, com a aquisição desses dados elaborar dashboards para controle e acompanhamento da célula de manufatura. Após obter toda essa conexão, buscaremos implementar melhorias no modelo de Digital Twin através da observação do ativo físico.

Além disso, como o ambiente de simulação RoboDK permite apenas a programação offline de movimentação XYZ, com orientação angular fixa na geração de código G (similar a uma impressora cartesiana); futuramente é planejada a integração do DT com a ferramenta de modelagem 3D Grasshopper do software Rhino juntamente com add-ons para conversão de código G para código RAPID a ser executado pelo robô IRB 2600. Tal modificação permitirá a geração de peças mais complexas através da utilização dos 6 graus de liberdade de movimentação do robô mais os 2 graus de liberdade da mesa posicionadora.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF) pelos suportes financeiros para o desenvolvimento do presente trabalho.

8. REFERÊNCIAS

- A. CABRAL JOÃO VÍTOR E F. DE OLIVEIRA, L. Demonstração Simulação Usinagem ABB IRB 2600 RoboDK. Acesso em: 12 mai. 2022. < <https://youtu.be/E-wuVhRHnC8> >.
- BERNAL, V. B. Tecnologia de Redes - Protocolo Ethernet. Acesso em: 11 mai. 2022. < <https://www.lsi.usp.br/~volnys/courses/tecredes/pdf/05ETH-col.pdf> >.
- DATA, I. 1. 4. I. ISO 23247-1:2021 Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles. Acesso em: 8 mai. 2022. < <https://www.iso.org/standard/75066.html> >.
- DATA, I. 1. 4. I. ISO 23247-2:2021 Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 2: Reference architecture, stage 60.60. Acesso em: 8 mai. 2022. < <https://www.iso.org/standard/78743.html> >.
- DATA, I. 1. 4. I. ISO 23247-3:2021 Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 3: Digital representation of manufacturing elements, stage 60.60. Acesso em: 8 mai. 2022. < <https://www.iso.org/standard/78744.html> >.
- DATA, I. 1. 4. I. ISO 23247-3:2021 Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 4: Information exchange, stage 60.60. Acesso em: 8 mai. 2022. < <https://www.iso.org/standard/78745.html> >.
- DUTRA, J. C., GONÇALVES & SILVA, R. H. e MARQUES, C. Melting and Welding Power Characteristics of MIG CMT versus Conventional MIG for Aluminum 5183. Soldagem & Inspeção. 18. 12-18. 10.1590/S0104-92242013000100003. Mar. 2013.
- HENCKELL, P.; GIERTH, M.; ALI, Y.; REIMANN, J.; BERGMANN, J. P. Reduction of Energy Input in Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) with Gas Metal Arc Welding (GMAW). Materials, v. 13, n. 11, 2020. ISSN 1996-1944. DOI: 10.3390/ma13112491. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1944/13/11/2491>>.
- INSTITUTE, M. MTConnect Standard. Acesso em: 11 mai. 2022. <<https://www.mtconnect.org/>>.
- LIU, C.; LE ROUX, L.; KÖRNER, C.; TABASTE, O.; LACAN, F.; BIGOT, S. Digital Twin-enabled Collaborative Data Management for Metal Additive Manufacturing Systems. Journal of Manufacturing Systems, v. 62, p. 857–874, 2022. ISSN 0278-6125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.05.010>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612520300741>>.
- MX3D | Robotic 3D Metal Printing | WAAM. Acesso em: 30 nov. 2022. < <https://mx3d.com/> >.
- ORG., M. MQTT: The Standard for IoT Messaging. Acesso em: 11 mai. 2022. <<https://www.mqtt.org/>>.
- P. K. D. PRAMANIK, et. al. A novel multi-brand robotic software interface for industrial additive manufacturing cells. Nov. 2019. DOI: 10.1108/IR-11-2019-0237.

- SELCUK, C. Cap. 13 - Joining processes for powder metallurgy parts, In Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering, Advances in Powder Metallurgy, Woodhead Publishing, pages 380-398. 2013, DOI: < <https://doi.org/10.1533/9780857098900.3.380>>.
- WISHBOX. TUDO SOBRE IMPRESSÃO 3D: O QUE É, COMO FUNCIONA E TIPOS. Acesso em: 11 mai. 2022. <<https://www.wishbox.net.br/blog/impressao-3d/>>.
- WISHBOX. AMBEV: REDUÇÃO NOS CUSTOS DE PRODUÇÃO COM IMPRESSORA 3D. Acesso em: 11 mai. 2022. <<https://www.wishbox.net.br/blog/amb-ev-producao-com-impressora-3d/>>.
- Zhang, Y., Gao, M., Lu, Y. et al. Deposition geometrical characteristics of wire arc additive-manufactured AA2219 aluminium alloy with cold metal transfer pulse advance arc mode. Int J Adv Manuf Technol 123, 3807–3818 (2022). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00170-022-10460-4>>.
- ZHU, C. Y. CONTRIBUTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA ROBÓTICA PARA PRODUÇÃO ADITIVA DE PEÇAS METÁLICAS. UNIVERSIDADE DE COIMBRA. Set. 2019.
- ZHU, C.Y., Pires, J.N. and AZAR, A. "A novel multi-brand robotic software interface for industrial additive manufacturing cells", Industrial Robot, Vol. 47 No. 4, pp. 581-592. Jun. 2020. DOI: 10.1108/IR-11-2019-0237.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

DIGITAL TWIN DEVELOPMENT FOR SIMULATION AND PROCESS OPTIMIZATION OF A ROBOTIC ADDITIVE MANUFACTURING PLATFORM

João Vítor Arantes Cabral

Leonardo Felipe de Oliveira

University of Brasília

jvarantescabraltrab@gmail.com, leoofelipe_@hotmail.com

Alberto José Álvares

University of Brasília

albertojalvares@alvarestech.com

Abstract. The additive manufacturing is constantly growing and this theme is receiving increasingly more attention of industries and the academic world. Differently from the traditional manufacturing, the subtractive one, a reduction on the complex parts production time, a reduction on the cost, an optimization of material usage and reduction of waste are sought after through the construction of those parts by layers. This work presents an additive manufacturing type, the arc welding deposition of material which will be implemented through a welding power supply and an ABB IRB 2600 robot. In order to create a Metal Additive Manufacturing Digital Twin, it was decided to utilize the software RoboDK and ABB RobotStudio. That application puts into practice concepts related to Internet of Things (IoT) and Industrial Internet of things (IIoT), which will be applied in this work for real-time monitoring of an asset in a laboratory. The standardization basis for the development of the Digital Twin in question is the ISO 23247, which establishes directives for guiding the creation of control and monitoring systems related to services inherent to recent applications of the Industry 4.0. Through this standard, it is possible to determine the interface between domains that provide services and applications to the user and also to other subsequent layers/domains. In the exchange of data between each domain there is the use of communication protocols that are common in IoT applications such as MQTT, web protocols such as HTTP and WebGL for simulation of 3D movement in the browser and data transmission protocols between machines such as RS 232, which in this project will be used to obtain data from the robotic additive manufacturing cell. Furthermore, the torch used for the deposition of metallic material in 3D printing will be described, designed and applied in the manufacturing cell; thus the project is characterized not only by the creation of a virtual model of the asset but also by the development of functional aspects needed to adapt the robot for additive manufacturing.

Keywords: Additive Manufacturing, Digital Twins, Internet of Things, Robotic Manufacturing Cells.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.