XXXIII Congresso de Iniciação Científica da Unicamp

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS
ENGENHARIA DE MANUFATURA

Simulação Dinâmica de braço articulado para bancada de manufatura aditiva de metal por laser e arame

Autor: Enzo Issao Kawamura

Registro Acadêmico: 255228

Orientador: Eduardo Paiva Okabe

Coorientador : Jaime Hideo Izuka

Palavras-chave: Manufatura Aditiva; Dinâmica Multicorpos; MBDyn; Braço Robótico; Simulação Computacional; Blendyn; Engenharia de Manufatura.

PIBIT

2025

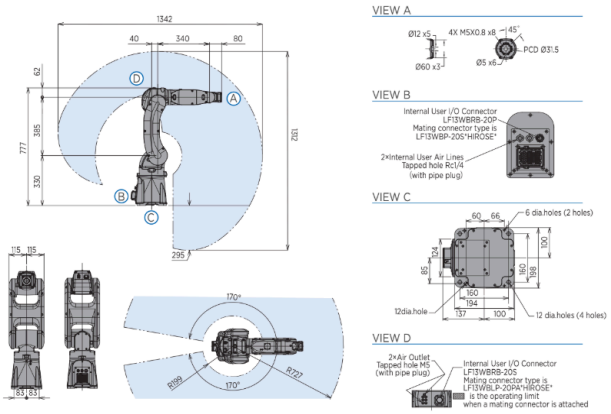
Introdução

A busca por soluções inovadoras na área da engenharia de manufatura tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias que aliam precisão, eficiência e flexibilidade. Nesse contexto, a manufatura aditiva (MA) se destaca como uma das mais promissoras frentes tecnológicas da Indústria 4.0, permitindo a produção de peças por meio da adição controlada de material camada a camada, sem a necessidade de moldes ou ferramentas específicas. Diferente da manufatura subtrativa tradicional, que remove material de blocos brutos, a MA utiliza apenas a quantidade exata de material necessária para a construção da peça, reduzindo significativamente desperdícios e custos com insumos (SILVA et al., 2020).

Dentro das diversas vertentes da manufatura aditiva, a deposição de metal por laser e arame (Wire and Laser Additive Manufacturing – WLAM) vem ganhando destaque por sua capacidade de produzir peças metálicas de grande porte com excelente controle de propriedades mecânicas. Essa abordagem é especialmente atrativa para setores como o aeroespacial, automotivo, naval e de petróleo e gás, onde a produção de componentes metálicos personalizados e de alta resistência é essencial. No entanto, a complexidade do processo requer sistemas de deposição extremamente precisos e estáveis, sendo comum o uso de manipuladores robóticos articulados que possibilitam movimentos coordenados em múltiplos eixos (ALCALDE; WILTGEN, 2018; WILTGEN, 2019).

O projeto de Iniciação Científica tem como foco principal o estudo e simulação da dinâmica de um manipulador robótico articulado baseado no modelo industrial GP8, da fabricante japonesa Yaskawa (Figura 1). Este braço será adaptado para operar em uma bancada de manufatura aditiva por laser e arame. A partir da criação de um modelo geométrico simplificado e realista do manipulador, são realizadas simulações computacionais com o uso do software MBDyn, que permite a análise de sistemas multicorpos compostos por elementos rígidos e flexíveis (SKY ENGINEERING LABORATORY, 2025).

Figura 1: Desenho do braço robótico GP8.



Fonte: Yaskawa.

Metodologia

A metodologia adotada neste projeto envolveu a aplicação de técnicas de modelagem, simulação computacional e análise numérica para estudar o comportamento dinâmico de um manipulador robótico articulado em uma bancada de manufatura aditiva metálica por laser e arame.

A primeira etapa consistiu na modelagem geométrica simplificada do braço robótico GP8, da fabricante Yaskawa. Com base em imagens técnicas e documentação disponível, foram identificadas suas principais juntas e componentes estruturais. O modelo foi segmentado em quatro corpos principais e sete juntas, classificadas de acordo com sua função (fixação, rotação livre ou acionamento por motor). Para cada corpo, foram estimadas as dimensões físicas, massas e geometrias aproximadas (cilindro, paralelepípedo etc.), possibilitando o cálculo do momento de inércia necessário para a simulação.

Com as características estruturais do braço definidas, foi iniciada a programação no software MBDyn, ferramenta de código aberto voltada para simulações de dinâmica multicorpos. O código de entrada foi construído definindo os nós estruturais, os corpos rígidos, os elementos de ligação (juntas) e as condições de contorno. O processo foi apoiado por tutoriais e exemplos do Sky Engineering Laboratory, que disponibiliza conteúdo técnico específico para o uso do MBDyn.

Após a execução da simulação, o software MBDyn gerou diversos arquivos de saída contendo informações físicas detalhadas sobre o comportamento do sistema. Entre esses arquivos, destacam-se os arquivos com extensão .mov, que registram os dados de posição, velocidade e aceleração dos nós ao longo do tempo; os arquivos .frc, que armazenam as forças externas aplicadas aos nós do modelo; os arquivos .ine, que contêm as forças internas geradas nos elementos estruturais; e os arquivos .jnt, que concentram informações relacionadas ao comportamento das juntas, incluindo ângulos, forças e momentos transmitidos entre os corpos conectados.

Esses arquivos foram então processados em ambientes de análise computacional como o GNU Octave e o Google Colab, utilizando scripts desenvolvidos especificamente para extrair, tratar e visualizar os dados obtidos da simulação. A partir desses dados, foram gerados gráficos de deslocamento, velocidade angular e força em função do tempo, possibilitando a interpretação dinâmica do comportamento do braço robótico ao longo do ciclo de operação. Além disso, foi utilizado o Blendyn, uma extensão do Blender voltada para visualização de resultados do MBDyn, permitindo a inspeção gráfica e animada da simulação em ambiente tridimensional. Essa abordagem possibilitou validar visualmente o movimento dos corpos articulados e identificar possíveis interferências ou inconsistências no modelo físico.

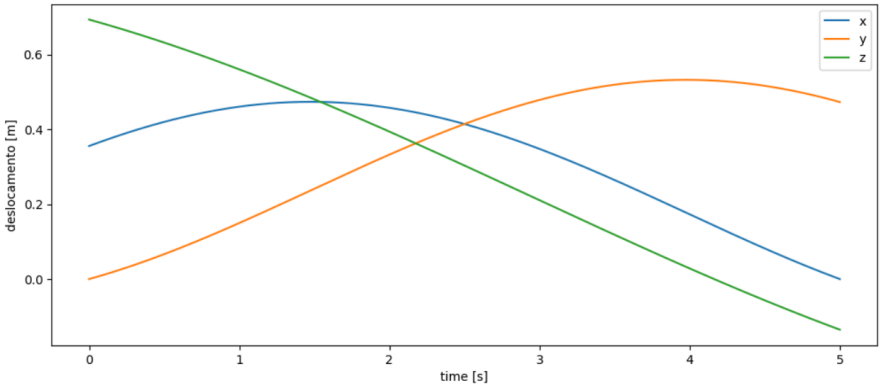
Resultados e discussões

Com a programação do modelo concluída no MBDyn, foi possível realizar simulações dinâmicas para avaliar o comportamento do braço robótico GP8 em operação. Considerando as características geométricas, massas e momentos de inércia previamente estimados, a

simulação permitiu observar a resposta do sistema frente às condições impostas de movimento. A análise dos dados obtidos revelou que o deslocamento de um dos nós associados ao corpo 3 apresentou um padrão contínuo e estável ao longo do tempo, condizente com a movimentação esperada de um mecanismo articulado. Já os resultados de velocidade angular demonstraram variações progressivas, com aceleração e desaceleração suaves, características típicas de um sistema multielos com movimentação rotacional coordenada.

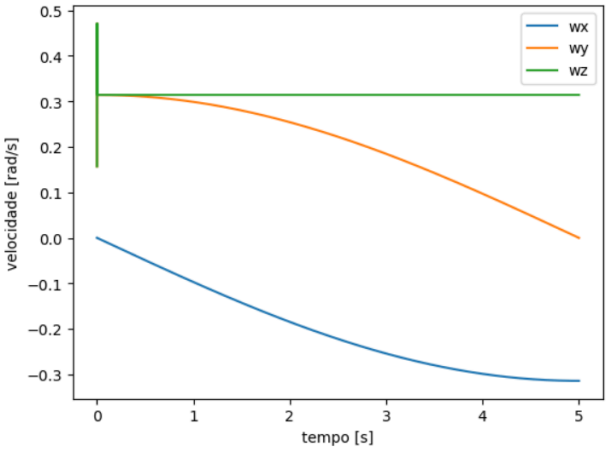
Além disso, a avaliação das forças dinâmicas atuantes indicou que os esforços se comportaram de forma coerente com os momentos de maior exigência do sistema, como nas transições de velocidade e nas mudanças de direção do braço. Esses resultados, combinados à validação visual por meio da simulação em ambiente tridimensional, reforçam a consistência do modelo desenvolvido, confirmando que o comportamento simulado é fisicamente plausível e que as juntas e corpos foram corretamente definidos.

Figura 2: Gráfico Deslocamento versus Tempo do nó relacionado ao corpo 3.



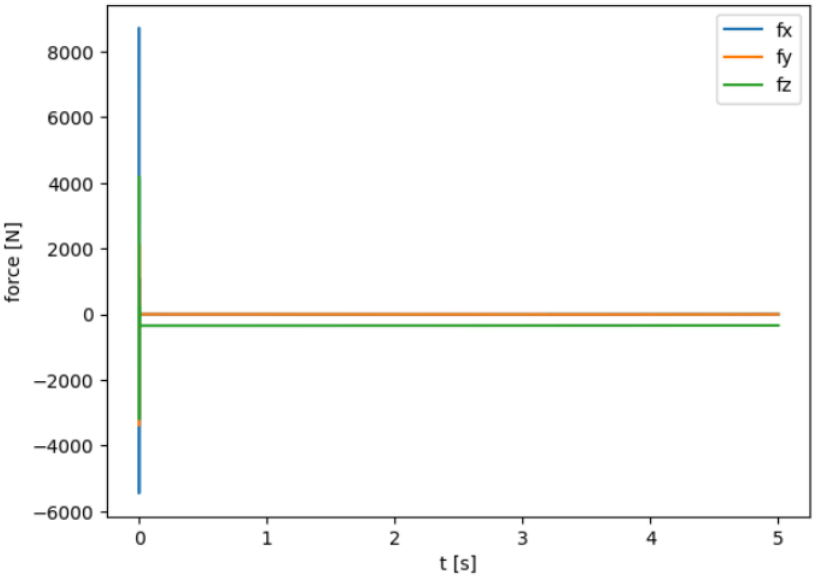
Fonte: Autoria própria.

Figura 3: Gráfico Velocidade angular versus Tempo do nó relacionado ao corpo 3.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4: Gráfico Força versus Tempo do nó relacionado ao corpo 3.



Fonte: Autoria própria.

Referências

ALCALDE, E.; WILTGEN, F. Estudo das tecnologias em prototipagem rápida: passado, presente e futuro. *Revista de Ciências Exatas da Universidade de Taubaté*, Taubaté, v. 24, n. 2, p. 12-20, 2018..

SKY ENGINEERING LABORATORY. Desenvolvimento e aprimoramento de ferramentas de análise de dinâmica multicorpos. Acesso em: 13 mar. 2025.

SILVA, Pedro Coelho; SANTANDREA, Rafael Souza; BRANDÃO, Lincoln Cardoso; XAVIER, Marcos Vinício Antônio; VOLPINI, Victor Lattaro. Manufatura aditiva: revisão sistemática da literatura. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 77184-77200, 2020. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19274/15465. Acesso em: 13 mar. 2025.

WILTGEN, F.; ALCALDE, E. Prototipagem rápida aditiva aplicada em dispositivos funcionais de auxílio humano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 10., COBEF, 10., São Carlos, 5-7 ago., 2019. Anais [...]. São Carlos: UFSCar, 2019.