

DESENVOLVIMENTO DO GÊMEO DIGITAL DE UMA PLANTA DE MANUFATURA AVANÇADA

Matheus Antônio Nogueira de Andrade¹; Lilian Moraes de Oliveira²

¹ Bolsista; Centro Universitário SENAI CIMATEC; matheus.andrade@fbter.org.br

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; lilian.moraes@fieb.org.br

RESUMO

Gêmeos digitais são réplicas virtuais que utilizam dados do passado e do estado atual de um objeto físico podendo impactar no gerenciamento da produção. Alguns autores trazem a importância de uma saída funcional para o gêmeo digital que possa gerar algum impacto no sistema. O uso de gêmeos digitais tem sido uma estratégia cada vez mais utilizada para melhorar a eficiência das operações industriais. Este trabalho tem como objetivo a criação e um gêmeo digital para a Planta de Manufatura Avançada (PMA) do SENAI CIMATEC, utilizando os dados históricos da PMA e a comunicação com os controladores industriais como fontes de informação para o gêmeo digital. Inicialmente foi desenvolvido um modelo no software Tecnomatix Plant Simulation para representar o que está acontecendo na planta em tempo real. Em um segundo momento, uma aplicação em Python foi desenvolvida para fazer previsões sobre o comportamento da planta.

PALAVRAS-CHAVE: gêmeos digitais; planta de manufatura avançada; indústria 4.0.

1. INTRODUÇÃO

Gêmeos digitais podem ser definidos como a representação do histórico e o estado atual de um objeto físico do mundo real, que evolui com o tempo tornando-se mais robusto¹, e gera uma saída funcional para o objeto físico modificando o seu estado². Entretanto, diversas definições podem ser encontradas na literatura fazendo com que o termo ganhe vários significados distintos²⁻⁵. Essas várias definições adotadas podem ter alguma relação a uma área específica, como por exemplo a engenharia aeroespacial⁶, levam em consideração a utilização de algum tipo de tecnologia, tal como simulação⁷ e IoT (do inglês, *Internet of Things*)⁸ ou dizem respeito a um determinado tema, como o gerenciamento de ciclo de vida⁹ ou aprendizado de máquina¹⁰.

O objeto físico que terá a sua versão digital criada pode ser uma peça mecânica, uma máquina, um processo industrial, um fenômeno físico ou ainda um sistema de distribuição logístico com várias fábricas. Ou seja, gêmeos digitais de diferentes níveis podem ser criados trazendo melhorias para os objetos físicos¹¹. Vários podem ser os objetivos quando o gêmeo digital de um processo industrial é criado. Monitoramento e operação remota¹², otimização da produção¹³ e simulação de possíveis cenários⁷ são algumas das possibilidades passíveis de exploração via gêmeo digital. Ferramentas de simulação de processos são usadas há algumas décadas para fazer análises que permitem encontrar os gargalos, estimar o desempenho da produção, entre outras aplicações¹⁴. Porém, escolher o software adequado para a simulação de um processo em específico é essencial para representá-lo de forma consistente¹⁴.

Um aspecto importante que torna o gêmeo digital uma ferramenta muito útil é a capacidade de utilizar dados reais em suas análises. Os sistemas ciberfísicos (CPS, do inglês *Cyber-Physical Systems*) são uma base importante para que os gêmeos digitais se tornem robustos e tomem decisões assertivas, uma vez que possibilitam a criação de bancos de dados contendo informações importantes para a otimização dos sistemas de produção². Estes dados, originados pelos CPS, tornam viável a criação de modelos que auxiliam máquinas na tomada de decisões complexas ao interagir com o ambiente onde estão inseridas, a partir da utilização de algoritmos de aprendizado de máquina¹⁵. O aprendizado de máquina é uma área da inteligência artificial que estuda algoritmos capazes de ensinar computadores a extrair informações dos dados aprendendo com eles¹⁶. Os sistemas tradicionais da automação, como o SCADA (do inglês, *Supervisory Control and Data Acquisition*), MES (do inglês, *Manufacturing Execution System*) e ERP (do inglês, *Enterprise Resource Planning*), juntamente com os bancos de dados, são boas fontes de informação que podem ser utilizadas por gêmeos digitais¹⁷. Todas essas ferramentas podem ser utilizadas na construção de um gêmeo digital de um processo industrial.

2. METODOLOGIA

Para construir o gêmeo digital da planta de manufatura do Senai Cimatec foi necessário entender primeiramente o funcionamento dela, bem como os softwares e protocolos de comunicação utilizados nela. A planta trabalha processando bases de cilindros pneumáticos de alumínio executando quatro processos

nessas bases de cilindro; furação, inspeção por visão computacional, limpeza com jato de ar comprimido e prensagem, processos esses que são executados em quatro estações que recebem o nome da operação executada nela. Além disso a planta apresenta uma estação de transferência. Esta estação é responsável por transferir as peças da esteira de entrada para o *buffer* e do *buffer* para a esteira principal onde as peças circulam em quatro paletes entre as estações para que os processos possam ser executados. A planta também apresenta uma estação de saída que retira as peças da esteira principal deixando-as disponível para que um operador possa retirá-las.

A PMA conta com quatro robôs industriais, três da KUKA e um da Universal Robots, seis CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) sendo dois da Siemens, três da Altus e um da Rockwell. Os CLPs se comunicam uns com os outros e com outros sistemas utilizando três protocolos industriais; Modbus TCP, Ethernet/IP e OPC UA (do inglês, *Open Platform Communications – Unified Architecture*). A planta dispõe de um sistema supervisor SCADA, o Elipse E3, utilizado para operar a planta.

Para que fosse possível desenvolver um gêmeo digital, foi preciso criar um banco de dados para registrar as informações da planta para serem posteriormente utilizadas na criação de modelos de aprendizado de máquina e executar previsões em tempo real levando em conta o estado atual da planta de manufatura. O banco de dados da PMA foi criado usando o Microsoft SQL Server com base em um Modelo Entidade Relacionamento (MER) criado previamente. Após a criação do banco de dados, um modelo da planta de manufatura foi desenvolvido no software Tecnomatix Plant Simulation. Nesse ambiente é possível executar simulações para explorar o funcionamento da planta ou conectá-lo a planta real para que tudo que aconteça no mundo real também seja refletido no modelo digital.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A parte referente a interface gráfica e visualização do gêmeo digital que se conecta à planta foi desenvolvida no Tecnomatix Plant Simulation utilizando sua biblioteca de componentes prontos. Devido a dificuldades relacionadas a comunicação entre o software e um dos CLPs, uma API (do inglês, *Application Programming Interface*) em Python foi desenvolvida para ler os dados do CLP e disponibilizá-los para que o Tecnomatix Plant Simulation possa utilizar e identificar o estado atual da PMA e representar tudo que acontece na PMA também no gêmeo digital.

Os eventos que acontecem na PMA são refletidos no gêmeo digital com um atraso de cerca de dois segundos. A API implementada em Python pode ser uma das causas raiz deste problema. Outra possível razão é a utilização de uma conexão sem fio para obter os dados do CLP. Uma conexão cabeada pode ser mais adequada para garantir uma troca de dados mais rápida reduzindo este atraso. Outro motivo que precisa ser investigado é a arquitetura de comunicação entre os CLPs da PMA visto que todos os dados são enviados para um CLP central, o que pode contribuir para o atraso de comunicação dos dados. Esses três problemas devem ser melhor explorados futuramente para reduzir o atraso entre o gêmeo digital e a planta real.

Modelos de aprendizado de máquina também foram desenvolvidos em Python para fazer previsões sobre o comportamento da PMA. Atualmente, a planta possui quatro pallets com capacidade de uma peça por pallet. Foram desenvolvidos modelos para prever em quanto tempo cada uma das peças que estão em produção vai ficar pronta após passar por todos os processos que foram solicitados no pedido da peça. Outro modelo desenvolvido prevê em quanto tempo a planta precisará de um operador para retirar a peça na estação de saída. Muitos outros modelos podem ser implementados executando outras funções gerando uma quantidade maior de informação sobre a planta e melhorando seu desempenho. Um modelo que ordena e prioriza os pedidos de acordo com a sua criticidade e prazo de entrega é uma das possibilidades que podem ser exploradas futuramente. Outra possibilidade é implementar modelos capazes de modificar a velocidade das esteiras e dos robôs de acordo com a necessidade, otimizando o consumo energético. O gêmeo digital poderia também auxiliar na manutenção dos equipamentos disponíveis na planta prevendo falhas e reduzindo custos.

A quantidade de dados relevantes disponível para a criação de modelos de aprendizado de máquina ainda é pequena necessitando de mais dados para que os modelos sejam mais robustos. Esses dados devem ser gerados futuramente para que se possa criar modelos com melhores métricas de desempenho e capazes de prever outras possibilidades de configurações de peças.

Os modelos em Python foram disponibilizados para uso através de uma aplicação em nuvem, o Streamlit. Essa aplicação acessa os dados do CLP e executa as previsões citadas anteriormente informando ao usuário em uma interface gráfica podendo ser acessada pela internet. A interface gráfica desta aplicação construída no Streamlit tem algumas limitações de personalização e pode não ser a mais adequada para esta finalidade. Portanto, outra possibilidade de melhoria futura é a criação de uma página na internet utilizando ferramentas mais adequadas para a construção deste tipo de aplicação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final do projeto de pesquisa, verificou-se que o gêmeo digital da PMA é uma grande contribuição no avanço do grau de digitalização da planta. As aplicações que funcionam no Tecnomatix Plant Simulation e em Python foram criadas com êxito, porém aspectos relacionados a rede e comunicação entre dispositivos e aplicações devem ser investigados mais a fundo com o objetivo de buscar uma comunicação mais eficiente, garantindo melhor sincronização entre as aplicações e a PMA. É necessário implementar mais modelos de inteligência artificial para tornar o gêmeo digital mais robusto e capaz de prever o comportamento da planta de forma mais completa. Além disso, alguns outros algoritmos de aprendizado de máquina podem ser testados para verificar se são mais adequados para gerar os modelos baseados em dados.

Agradecimentos

Agradeço ao SENAI CIMATEC pelos recursos humanos, materiais e financeiros para que pudesse contribuir com a Planta de Manufatura Avançada.

5. REFERÊNCIAS

- 1 PARROTT, Aaron; WARSHAW, Lane. Industry 4.0 and the digital twin: Manufacturing meets its match. **Deloitte University Press**, p. 1–17, 2017. Disponível em https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloittnewsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf. Acesso em: 27 mar. 2023.
- 2 KRITZINGER, Werner et al. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. **IFAC-PapersOnLine**, vol. 51, n. 11, p. 1016-1022, 2018.
- 3 NEGRI, Elisa; FUMAGALLI, Luca; MACCHI, Marco. A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems. **Procedia Manufacturing**, vol. 11, p. 939- 948, 2017.
- 4 JONES, David et al. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 29, p. 36-52, 2020.
- 5 LATTANZI, Luca et al. Digital twin for smart manufacturing: a review of concepts towards a practical industrial implementation. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, p. 1-31, 2021.
- 6 GLAESSGEN, Edward; STARGEL, David. The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. In: **53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference 20th AIAA/ASME/AHS adaptive structures conference 14th AIAA**. 2012. p. 1818.
- 7 GABOR, Thomas et al. A simulation-based architecture for smart cyber-physical systems. In: **2016 IEEE international conference on autonomic computing (ICAC)**. IEEE, 2016. p. 374-379.
- 8 SCHLUSE, Michael; ROSSMANN, Juergen. From simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems. In: **2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)**. IEEE, 2016. p. 1-6.
- 9 JIANG, Feng et al. Digital twin and its implementations in the civil engineering sector. **Automation in Construction**, v. 130, p. 103838, 2021.
- 10 WANG, Jinjiang et al. Digital Twin for rotating machinery fault diagnosis in smart manufacturing. **International Journal of Production Research**, vol. 57, n. 12, p. 3920-3934, 2019.
- 11 CIMINO, Chiara; NEGRI, Elisa; FUMAGALLI, Luca. Review of digital twin applications in manufacturing. **Computers in Industry**, vol. 113, p. 103130, 2019.
- 12 BRENNER, Beate; HUMMEL, Vera. Digital twin as enabler for an innovative digital shopfloor management system in the ESB Logistics Learning Factory at ReutlingenUniversity. **Procedia Manufacturing**, vol. 9, p. 198-205, 2017.
- 13 VACHÁLEK, Ján et al. The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept. In: **2017 21st international conference on process control (PC)**. IEEE, 2017. p. 258-262.
- 14 FUMAGALLI, Luca et al. Framework for simulation software selection. **Journal of Simulation**, 2019.
- 15 ROSEN, Roland et al. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. **IFAC-PapersOnLine**, vol. 48, n. 3, p. 567-572, 2015.
- 16 SAMUEL, Arthur L. Some studies in machine learning using the game of checkers. **IBM Journal of research and development**, vol. 3, n. 3, p. 210-229, 1959.
- 17 CORTÉS, Daniel et al. Digital Pyramid: An approach to relate industrial automation and digital twin concepts. In: **2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**. IEEE, 2020. p. 1-7.